

Державний університет інфраструктури та технологій
Міністерство освіти і науки України

Державний університет інфраструктури та технологій
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Алейніков Владислав Михайлович

Прим. № ____

УДК 629.052.9

ДИСЕРТАЦІЯ

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ДЕТАЛІЗОВАНОГО МАСИВУ ГЛИБИН В РІЧКОВИХ ЕЛЕКТРОННО-КАРТОГРАФІЧНИХ СИСТЕМАХ

Спеціальність 271 – Річковий та морський транспорт

Галузь знань 27 –Транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Алейніков Владислав Михайлович

Науковий керівник Доронін Володимир Васильович, кандидат технічних наук

Київ — 2020

АНОТАЦІЯ

Алейніков В. М. Підвищення ефективності експлуатації водного транспорту шляхом використання деталізованого масиву глибин в річкових електронно-картографічних системах. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 271 – Річковий та морський транспорт. – Державний університет інфраструктури та технологій, Київ, 2020.

Дисертаційна робота присвячена автоматизації річковий електронно-картографічної системи щодо відображення фактичних глибин на системній електронній карті шляхом розробки нових методів, що дозволяють автоматизувати вибір безпечного шляху з дотриманням вимог з безпеки руху судна, що маневрує.

Найбільш важливою проблемою сучасної ефективної експлуатації водного транспорту є питання безпеки судноплавства. На підставі отриманих даних щодо динаміки аварійності на водному транспорті за останні роки можна стверджувати, що аварійність залишається на тому ж рівні, а найбільший її відсоток припадає на аварії в умовах обмеженого маневрового простору (річки, портові зони, прибережне плавання). В якості головної відмінної особливості ВВШ від морських водних шляхів необхідно виділити нестабільність глибин, русел річок і характеристик водних потоків. Це, безумовно, вимагає реалізації обчислювального інтелекту для автоматизації нанесення фактичних глибин на електронні карти для підвищення ефективності експлуатації ВТЗ.

На базі огляду літературних джерел відзначено, що публікації, пов'язані з проблемами автоматизованого оновлення відображуваного масиву глибин у SENC при експлуатації Inland ECDIS, дуже обмежені, а деякі їх аспекти досліджені не повністю, поверхово і побіжно. В результаті аналізу літературних джерел було встановлено, що центральним напрямом вирішення вказаної

проблеми є вдосконалення і розробка ефективних способів експлуатації водного транспорту за допомогою додаткових методів реалізації обчислювального інтелекту при використанні деталізованого масиву глибин в Inland ECDIS, а також вибору безпечного шляху з дотриманням вимог з безпеки руху судна, що маневрує, та охорони навколишнього середовища.

Обґрунтовано основний напрям дисертаційного дослідження, яке присвячене розробці способу автоматизації роботи функціональних підсистем з підвищеним рівнем безпеки руху на прогнозно-планових маршрутах електронно-картографічної інтелектуалізації в різних надзвичайних умовах. Розробка методів моделювання такої функціональної системи сприяє більш ефективному плаванню в умовах річкової е-навігації, попередженню посадок на мілину та забезпеченню безпечного проходу під мостами, лініями електропередач в стислих умовах, включаючи реалізацію додаткових завдань.

Об'єктом дослідження є процеси експлуатації водного транспорту на річці Дніпро, а предметом дослідження є методи що визначають структуру і обробку даних у електронно-картографічних засобах річкового судноводіння.

Розглянута методологічна структура дисертації і приведені її методологічне забезпечення. Проведено вибір теми дослідження і визначені її основні напрями. Викладені мета дисертаційного дослідження і його наукова задача, яка представлена незалежними складовими задачами. Сформульована і підтверджена робоча гіпотеза наукового дослідження, причому показано, що при вирішенні незалежних складових задач одержані відповідні наукові результати дисертаційної роботи. Приведені результати дослідження, які мають наукову новизну та отримали подальший розвиток. Обґрунтована практична цінність дослідження для забезпечення безпечного руху суден. Застосовані математичний апарат і методики вирішення складових задач. Методики описують основні етапи виконання наукового дослідження і включають теоретичні розробки з використанням сучасних методів експертного аналізу. Ефективність мережі автоматизованої передачі поправок до глибин, позначених у SENC, оцінювалася шляхом виконання апріорної оцінки та імітаційного комп'ютерного моделювання

з метою визначення очікуваної ефективності та доцільності реалізації пропонованої технології до етапу експлуатації. Для здійснення апріорної оцінки застосовані методи математичного моделювання.

В основній частині роботи приведено характеристику сучасного стану розвитку навігаційної техніки, який характеризується появою на річкових суднах значної кількості засобів електронно-картографічної інтелектуалізації нового покоління, яким властиві покращені технічні та експлуатаційні характеристики. З процесу судноводіння виділена процедура зображення фактичних глибин на екрані монітора. Визначені шляхи отримання достовірної навігаційної інформації для ефективного використання електронно-картографічних засобів при несенні навігаційної вахти. Формалізовані внутрішні та зовнішні зв'язки при експлуатації Inland ECDIS у вигляді єдиної структурної моделі. Застосований системний аналіз щодо використання деталізованого масиву глибин. Здійснено генерування множини альтернатив при системному аналізі проблеми з використанням методу сценаріїв і моделі «чорного ящика». У зв'язку зі значною кількістю альтернатив проведена їх попередня і перспективна класифікація. Обґрунтована можливість використання обчислювального інтелекту при виявленні дефектів базової версії програмного продукту Inland ECDIS, заснованого на «нечіткій» логіці. Визначені формалізовані завдання, вирішення яких необхідне для максимізації тестового покриття при автоматизованому тестуванні Inland ECDIS. Показані основні етапи і розроблений алгоритм реалізації функціональної стійкості системи автоматичного відображення фактичних глибин, що включає взаємодію системи елементів берегової інфраструктури та суднового навігаційного обладнання з використанням математичної моделі у вигляді неорієнтованого графа.

Визначені основні етапи системної оптимізації структури і стратегії використання деталізованого масиву глибин, що мають найбільш специфічний характер. Особливостями викладеної методології є подолання багатокритеріальності оптимізаційних завдань, визначення їх обсягу і якості, підвищення частки формальних прийомів, які неминучі при використанні принципів системного підходу. Для зняття невизначеності безпечних областей

навігації внаслідок впливу факторів навколишнього середовища здійснено геометричне моделювання функціональних нелінійних задач навігації. Відображення реальної ситуаційної динаміки використання деталізованого банку глибин при русі судна у n - мірному просторі описано у вигляді диференціально-інтегральних рівнянь з визначенням математичних прийомів для їх вирішення.

Здійснена інтелектуальна обробка потоку даних від водомірних постів за символно-формалізованими перетвореннями Лапласа при русі судна. Отриманий повний математичний вираз для автоматизованого надходження диференціальних поправок до вимірних глибин, які позначені у SENC. Розроблений сценарій захоплення в Inland ECDIS потоку даних від водомірних постів і автоматизованого введення поправок до вимірних глибин із застосуванням оптимальних варіантів визначення координат рухомого об'єкта у зоні функціональної здійсненності. При використанні різних аспектів, які базуються на деякій сукупності проблемних областей, застосовані критерії інтелектуальної обробки потоків навігаційних даних від водомірних постів.

Для вирішення складного завдання використані гібридні нечіткі нейронні мережі із застосуванням функцій активації нейронів. Таким чином вдалося розв'язати процедуру класифікації вхідних сигналів, зростання або зменшення значень диференційних поправок до глибин, розпізнання навігаційної інформації, що надходить. Вирішення завдання класифікації полягало в розбитті сигналів на динамічні класи і в подальшому виборі координат прототипів. Мірою близькості двох векторів обрана евклідова відстань. Для класифікації використана мережа Кохонена, яка самонавчається без вчителя на основі самоорганізації. При навчанні застосованих нейронних мереж використаний метод обчислення зворотного поширення помилки. Обчислення вихідного вектора зведено до матричного множення. Одним з найважливіших етапів підвищення точності даних, що надходять до Inland ECDIS, є розробка інтелектуальної експертної нейронної мережі, що заснована на прецедентах. Це дозволяє в результаті навчання формувати базу знань експертної системи за правилами,

представленими у формі нечітких висновків. Таким чином вирішена задача вибору гнучкої нечітко-нейронної моделі представлення знань.

Запропоновані структурні та диференціальні символні перетворення об'єктів зовнішнього середовища у системі відображення фактичних глибин на електронній карті. Вирішена задача розміщення водомірних постів з математичним розрахунком межі їх дії.

Визначені програма експериментальних досліджень і шляхи виконання апріорної оцінки запропонованої технології. Програма досліджень базується на запропонованих методах ефективною обробки потоку навігаційних даних в умовах річкової е-навігації. Обрані показники та формули ефективності. На підставі аналізу навігаційно-гідрографічної інформації та картографічного забезпечення судноплавства на р. Дніпро розроблений модульний принцип формування типових ділянок, де в якості модулів обрані відповідні зони зображення Inland ENC. Визначена методика експериментальних досліджень у вигляді 9 тестів.

Отримані результати експериментальних досліджень підтверджують ефективність запропонованих методів ефективного використання водного транспорту. Так, запропоновані методи дозволяють підвищити точність навігаційних параметрів (поправок до глибин) на 10 %; скоротити час для прийняття рішення щодо забезпечення безпеки судноплавства вахтовим помічником капітана в 10 разів; підвищити ефективність несення навігаційної вахти в частині скорочення часу на виконання завдання з визначення безпечних глибин на фарватері на 30 %; підвищити ймовірність безпечного плавання до 0,97.

У дисертаційній роботі отримані результати, що містять наукову новизну:

- вперше запропонована модель оптимізації структури відображення фактичних глибин на SENC, яка відрізняється від відомих раніше інтеграцією процедур (методів) системного та ситуаційного аналізу, в різних надзвичайних умовах річкового судноводіння;
- вперше отримана математична модель автоматизованого визначення диференціальних поправок до глибин, які позначені на SENC, яка дозволяє, на

відміну від існуючих, забезпечити відображення фактичних глибин на SENC для розв'язання оперативних задач навігації згідно з точнісними критеріями судноплавства;

- удосконалено метод забезпечення функціональної стійкості системи автоматичного відображення фактичних глибин на SENC, що дозволяє, на відміну від існуючих, забезпечити своєчасне виявлення мережевих аномалій у системі;
- набуло подальшого розвитку метод застосування нейронних мереж шляхом розв'язання процедури класифікації вхідних сигналів і обчислення зворотного поширення помилки, що дозволяє, на відміну від існуючих, підвищити точність визначення фактичних глибин на SENC.

Практичне значення роботи визначається тим, що її основні результати можуть бути використані розробниками навігаційних інформаційних систем, призначених для локально-незалежного управління процесом судноплавства на ВВШ України. Матеріали дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі КІВТ ДУІТ при викладанні дисципліни «Навігаційні інформаційні комп'ютерні системи з ЕК» (акт від 05.02.2019). Матеріали дисертаційного дослідження також використовуються в тренажерній підготовці в Київському Центрі підготовки, перепідготовки та підвищення кваліфікації фахівців водного транспорту за напрямками «Використання електронних картографічних та навігаційно-інформаційних систем (ЕКНІС)» і «Використання електронних картографічних та навігаційно-інформаційних систем на ВВШ» (акт від 26.12.2018), в Центрі підготовки фахівців морського та річкового транспорту "Укрводшлях – Training" за напрямом «Використання електронних картографічних та навігаційно-інформаційних систем на ВВШ» (акт від 14.03.2019). Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені: в судноплавній компанії «Південне річкове пароплавство» (акт впровадження від 12.09.2018), в Річковій інформаційній службі філії «Дельта-лоцман» (акт впровадження від 07.03.2019), в ДУ «Держгідрографія» (акт впровадження від 26.02.2019), на борту суден «Vectis Isle» (акт впровадження від 15.11.2018) і судна «Wilson Gaeta» (акт впровадження від 10.07.2019).

Ключові слова: водний транспорт, безпека судноплавства, Inland ECDIS, фактичні глибини, водомірний пост, нейронна мережа, експертна система, апріорна оцінка.

Основні наукові результати дисертації опубліковані в наступних наукових працях:

1. Алейніков, В. М. Використання обчислювального інтелекту при виявленні дефектів функціонування базової версії програмного продукту ECDIS / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Водний транспорт. Збірник наукових праць. — 2016. — № 2 (25). — С. 54 – 63.
2. Алейніков, В. М. Застосування критеріїв оцінки функціональної стійкості інструментального методу навігації на ВВШ України / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Новітні технології. Збірник наукових праць. — 2019. — № 1 (8). — С. 21-29.
3. Aleynikov, V., Panin, V., Doronin, V. (2018). Application of the System Analysis of Implementation of the Instrumental Method of Navigation on Inland Waterways of Ukraine. Radio Electronics, Computer Science, Control. The scientific journal of Zaporizhzhia National Technical University, 2 (45), 125-134 (**Web of Science**).
4. Алейніков, В. М. Методи реалізації обчислювального інтелекту при використанні деталізованого масиву глибин в річкових електронно-картографічних системах / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Вісник Одеського національного морського університету. — 2018. — № 1 (54). — С. 158-181.
5. Алейніков, В. М. Контекстно-орієнтований підхід в інтелектуальній обробці потоків даних від водомірних постів при русі судна / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. Науковий журнал. — 2017. — № 2 (17). — С. 27-35.
6. Алейніков, В. М. Структурні перетворення об'єктів зовнішнього середовища в умовах річкової е-навігації / В. М. Алейніков, В. В. Доронін, О. М. Сп'ян // Вісник Одес. нац. морського університету. — 2018. — № 3 (56). — С. 175-196.

7. Aleinikov, M., Aleynikov V., Doronin, V., Spiian, O. (2019). Automated determination of the limit values of navigation parameters during vessel motion in the conditions of river *e*-navigation. International Journal of Science and Engineering Investigations (IJSEI). Lygten 4C, 2400, Kobenhavn, **Denmark**, Vol. 8 (88), 54 – 61.

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

8. Алейніков, В. М. Актуальні проблеми експлуатації Inland ECDIS на ВВШ України / В. М. Алейніков // 18-та науково-методична конференція викладачів, аспірантів та студентів : матеріали наук.-метод. конф., 24-28 березня 2014 р., м. Київ / МОН України, Київська держ. акад. водн. тр-ту, 2014.— С. 81-82.

9. Алейніков, В. М. Актуальні питання перспективного розвитку електронно-картографічних систем на акваторії річки Дніпро / В. М. Алейніков // 20-та науково-методична конференція викладачів, аспірантів та студентів : матеріали наук.-метод. конф., 29-31 березня 2016 р., м. Київ / МОН України, Київська держ. акад. водн. тр-ту. — Київ : КДАВТ, 2016.— С. 122-123.

10. Алейніков, В. М. Застосування критеріїв оцінки функціональної стійкості інструментального методу навігації на ВВШ України / В. М. Алейніков // 21-ша науково-методична конференція викладачів, аспірантів та студентів : матеріали наук.-метод. конф., 27-29 березня 2017 р., м. Київ / МОН України, Київська держ. акад. водн. тр-ту. — Київ : КДАВТ, 2017.— С. 117-120.

11. Алейніков, В. М. Метод отримання диференціальних поправок до вимірних глибин, які позначені на системній електронній карті / Алейніков В. М. // Науково-методична конференція : матеріали наук.-метод. конф., 26-29 березня 2018 р., м. Київ / МОН України, Держ. ун-т інфрастр. і технол, 2018.— С. 41-44.

12. Алейніков, В. М. Геометричне моделювання нелінійних задач навігації з врахуванням впливу деталізованого масиву глибин в електронно-картографічних системах / В. М. Алейніков // Перша всеукраїнська науково-технічна конференція «Проблеми інфокомунікацій» : матеріали наук.-техн. конф., 14-15 листопада 2017 р., м. Полтава / М-во освіти і науки України, Полтав. нац. техн. ун-т.— Полтава: ВКСС ВІТІ, 2017. — С. 52 – 53.

13. Методи прийняття рішень в умовах невизначеності на акваторіях судноводіння / В. М. Алейніков, Г. Л. Баранов, В. В. Доронін // Міжнародна наукова конференція «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту (ISDMCI '2016), 24-28 травня 2016 р., м. Херсон.— Херсон: Видав. ПП Вишемирський В. С., 2016. — С. 31 – 32.
14. Aleynikov, V. M. (2017). Application of Evaluation Criteria of Functional Sustainability Instrumental Method of Navigation on Ukraine's Inland Waterways / V. V. Doronin, M. V. Aleynikov, V. M. Aleynikov // International Conference (ISDMCI'2017). Intellectual Systems for Decision Making and Problems of Computational Intelligence: Conference Proceedings.– Kherson: PP Vyshemirsky V. S., 2017. 178 – 179 pp.
15. Багатокритеріальна модель обробки навігаційних даних в річкових електронно-картографічних системах / В.М. Алейніков, М.В. Алейніков, В. В. Доронін. // Міжнародна наукова конференція «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту», 21-27 травня 2018 р., м. Херсон. — Херсон: Видавництво ПП Вишемирський В. С., 2018. — С. 152 – 154.

Матеріали, які додатково відображають наукові результати дисертації

16. Патент UA 142156, МПК H04B 10/40 (2013.01) Спосіб використання деталізованого масиву глибин у n -мірному просторі при русі судна / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін, О. М. Спіян ; заявник Державний університет інфраструктури та технологій МОН України. — Заява № u 2019 3335 від 03.04.2019; опубл. 25.05.2020, Бюл. № 10, 2020 р.
17. Патент UA, Клас, серія G01C 21/28. Спосіб системного аналізу впровадження е-навігації на внутрішніх водних шляхах України / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін, О.М. Спіян ; заявник Державний університет інфраструктури та технологій МОН України. — Заява № u 2019 03967 від 16.04.2019; опубл. 2020, Бюл. 2020 р.
18. Патент UA 139453 U, МПК G01C 21/28 (2006.01) Спосіб інтелектуальної обробки потоків навігаційних даних в умовах річкової е-навігації / Алейніков В.

М., Алейніков М. В., Доронін В. В., Спіян О. М.; заявник Державний університет інфраструктури та технологій — № u201905627; заявл. 24.05.2019; опубл. 10.01.2020, Бюл. № 1, 2020 р.

19. Алейніков, В. М. Використання обчислювального інтелекту при виявленні дефектів функціонування базової версії програмного продукту ECDIS / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Право автора на твір № 3920 від 05.06.2018; авторський договір № 35-18С-НС від 13.04.2018.

20. Алейніков, В. М. Контекстно-орієнтований підхід в інтелектуальній обробці потоків даних від водомірних постів при русі судна / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Право автора на твір № 3917 від 05.06.2018; авторський договір № 36-18С-НС від 13.04.2018.

21. Алейніков, В. М. Застосування критеріїв оцінки функціональної стійкості інструментального методу навігації на ВВШ України / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Право автора на твір № 3921 від 05.06.2018; авторський договір № 37-18С-НС від 13.04.2018.

22. Алейніков, В. М. Збірник завдань з лабораторних робіт. Освітньо-професійна програма підготовки магістра / В. М. Алейніков, В. В. Доронін, О. М. Спіян // Право автора на твір № 3918 від 05.06.2018; авторський договір № 38-18С-НС від 16.04.2018.

23. Алейніков, В. М. Збірник завдань з лабораторних робіт. Освітньо-професійна програма підготовки бакалавра / Алейніков В.М., Доронін В. В., Спіян О. М. // Право автора на твір № 3919 від 05.06.2018; авт. дог. № 39-18С-НС від 16.04.2018.

ABSTRACT

Aleynikov V. M. Raising of efficiency of waterborne transport operation by using a detailed array of depths in electronic mapping systems for rivers. – Qualifying scientific work as a manuscript. Thesis for Ph.D. in the specialty 271 – Inland water and sea transport. – The State University of Infrastructure and Technology, Kyiv, 2020.

The dissertation is devoted to the automation of the river electronic cartographic system for displaying the actual depths on the system electronic chart by developing new methods that allow to automate the choice of a safe path with observance of the safety requirements of the maneuvering vessel.

The most important problem of modern efficient operation of waterborne transport is the safety of navigation. According to obtained data on the dynamics of waterborne transport accident rate in recent years, it can be argued that the accident rate remains at the same level, and the largest percentage falls on accidents in limited maneuvering space (rivers, port areas, coastal navigation). As the main distinctive features of inland water ways (IWW) as compared with sea waterways it should be necessary to highlight the instability of the depths of river channels and water flow characteristics. This, of course, requires the implementation of computational intelligence for automation of applying actual depths on electronic maps, in order to improve the efficiency of waterborne craft (WBC) operation.

According to literature data, it shall be noted that the publications associated with the problems of automated updating of displayed array of depths in the SENC when using Inland ECDIS are very limited, and some aspects are explored not completely, superficially and casually. According to literature data analysis, it was found that the central direction of the solution of this problem was the improvement and development of efficient methods of operation of waterborne transport with the help of additional

methods of implementation of computational intelligence when using a detailed array of depths in Inland ECDIS, as well as the choice of a safe way in compliance with the requirements of safety of maneuvering vessel's movement, and environmental protection.

The main direction of thesis research devoted to the development of method of automation of functional subsystems with an increased level of traffic safety on forecast-planned routes of electronic cartographic intellectualization in various emergency conditions was substantiated. The development of methods for simulating such functional system contributes to more efficient navigation under the conditions of inland water *e*-navigation, prevention of taking the ground, and ensuring safe passage under bridges, power lines in confined spaces, including the implementation of additional tasks.

The object of study is the processes of operation of water transport on the Dnieper River, and the subject of the study are methods that determine the structure and processing of data in electronic-cartographic means of river navigation.

The methodological structure of the thesis is considered, and its methodological support is given. The choice of the research issue, and its main directions were determined. The purpose of the thesis research and its main task represented by independent composite tasks were stated. Working hypothesis of scientific research was formulated and confirmed, and it was shown that when solving independent composite tasks, corresponding scientific results of the thesis were obtained. Research results having scientific novelty were presented, and have been further developed. Practical value of the research for ensuring the safe navigation of waterborne craft was substantiated. Intricate problem-solving techniques and mathematical apparatus were applied. The methods describe the main stages of scientific research and include theoretical developments by using modern methods of expert analysis. The efficiency of the network of automated correction transmission to the depths included in SENS was evaluated by performing a priori estimation and computer generated simulation in order to determine the expected efficiency and feasibility of the proposed technology before

the operation stage. Mathematical modeling techniques were applied for a priori estimation.

The main part of the thesis presents the characteristics of the current state of navigation technology, which is characterized by a significant number of means of electronic cartographic intellectualization of new generation used on river craft, characterized by improved technical and operational characteristics. The procedure for displaying the actual depths was separated from the navigation process. The ways of acquisition of reliable navigation information for the effective use of electronic cartographic means during the navigation watch were determined. Internal and external links while operating Inland ECDIS were formalized as a single structural model. System analysis was applied to the detailed array of depths. A set of alternatives was generated in the system analysis of the problem by using the scenario method and the black box model. Due to the large number of alternatives, their preliminary and prospective classification was carried out. The possibility of using computational intelligence in detecting defects in the basic version of Inland ECDIS software based on "fuzzy" logic was proved. Formalized problems the solution of which is necessary for maximizing test coverings at automated testing of Inland ECDIS were defined. The main stages were shown, and the algorithm was developed for implementing systems for automatic display of actual depths functional stability including interaction of coastal infrastructure element system and vessel navigation equipment with the use of mathematical model in the form of undirected graph.

The main stages of system optimization of structure, and strategy for using the detailed array of the most specific depths were determined. The peculiarities of the presented methodology are overcoming the multi-criteria optimization problems, determining their volume and quality, increasing the share of formal techniques that are inevitable when using the principles of comprehensive approach. In order to control uncertainties of safe navigation areas due to environmental factors, geometric simulation of functional nonlinear navigation problems was carried out. Mapping of real situational dynamics of the use of a detailed depth bank when moving the vessel in n -

dimensional space was described as differential-integral equations with the definition of mathematical devices for their solution.

Intelligent processing of data flow obtained from water stage gauges, according to character-expressed Laplace transforms, when moving the vessel. A complete mathematical expression was obtained for automated receipt of differential corrections for measured depths indicated in SENC. A script of data flow pinning in Inland ECDIS from water stage gauges, and automated entering of corrections for measured depths with the use of the best options for determining the movable object coordinates in the area of functional feasibility. When using various aspects based on a certain set of problem areas, the criteria of intelligent processing of navigation data flows obtained from water stage gauges were applied.

Hybrid fuzzy neural networks with activation function in neural networks were used for solving intricate problems. Thus, we managed to solve the procedure for input signal classification, increase or decrease in the values of differential corrections for depths, recognition of processing navigation information. Classification problem solving was to divide the signals into dynamic classes, and then select the coordinates of prototypes. Euclidean distance was chosen as proximity measure for two vectors. Kohonen network was used for classification as a self-organized map which is trained using unsupervised learning. When training applied neural networks, the backpropagation method was used. Calculation of output vector was reduced to matrix multiplication. One of the most important stages of improving the accuracy of data obtained by Inland ECDIS is the development of intelligent expert precedent-based neural network. This allows to form a knowledge base of expert system according to training results, by the rules presented in the form of fuzzy conclusions. Thus, the problem of choosing a flexible fuzzy-neural knowledge representation model was solved.

Structural and differential character transforms of external environment objects through the actual depth display system on electronic maps were proposed. The problem of placing water stage gauges with mathematical calculation of the limits of their action was solved.

The program of experimental studies and the ways of a priori estimation of the proposed technology were determined. The study program is based on the proposed methods of effective processing of navigation data flow under the conditions of inland water *e*-navigation. Performance indicators and formulas were selected. According to the analysis of navigation and hydrographic information and cartographic support of navigation on the Dnieper river, modular principle of formation of standard sites was developed, with the selection of corresponding Inland ENC display zones as modules. The method of experimental studies in the form of 9 tests was determined.

Obtained results of experimental studies confirm the effectiveness of the proposed methods of efficient waterborne transport operation. Thus, the proposed methods contribute to improving accuracy of navigation parameters (corrections for depths) by 10 %; reducing the time for decision making on ensuring the safety of navigation by the captain's shift assistant by 10 times; improving efficiency of navigation watch keeping in terms of the reduction of time for the performance of the task of determining the safe navigable depths by 30 %; increasing the probability of safe navigation to 0.97.

The following results containing scientific novelty were received in the thesis:

- for the first time, a model for optimizing the structure of actual depth on the SENC, which differs from the previously known integration (methods) of systematic and situational analysis procedures in different emergency river navigation;
- for the first time, a mathematical model has been obtained for the automated determination of differential corrections to depths indicated on the SENC, which allows, unlike the existing ones, to provide a reflection of the actual depths on the SENC for solving operational navigation problems in accordance with accurate navigation criteria
- advanced method of provision functional stability of the system of automatic display of actual depths on the SENC, which allows, unlike the existing ones, to ensure timely detection of network anomalies in the system;
- the method of using neural networks has been further developed by solving the procedure of classifying the input signals and calculating the back propagation of the

error, which allows, unlike the existing ones, to increase the accuracy of determining the actual depths on the SENC.

Practical importance of the thesis shall be determined by the fact that its main results can be used by developers of navigation information systems designed for local independent management of IWW navigation in Ukraine.

The materials of thesis research are used in the educational process of KIWT SUIT in teaching the discipline "Navigation computer-based systems with EC" (the act as of 05.02.2019). The materials of thesis research are also used in simulator training in the Kyiv centre for training, retraining and advanced training of specialists of waterborne transport in following fields: "Use of Electronic Chart Display and Information System (ECDIS)" and "Use of Electronic Chart Display and Information Systems in IWW" (the act as of 26.12.2018), in the Centre for training of specialists of sea and river transport "Ukrvodshliakh – Training" in the field "Use of Electronic Chart Display and Information Systems in IWW" (the act as of 14.03.2019). Application results of thesis research are introduced in the following institutions: shipping company "South river shipping company" (certificate of implementation as of 12.09.2018), River information service of the branch "DELTA-PILOT" (the implementation act as of 07.03.2019), the state directorate "State hydrographic service of Ukraine" (certificate of implementation as of 26.02.2019), aboard the ships "Vectis Isle" (the implementation act as of 15.11.2018) and "Wilson Gaeta" (the implementation act as of 10.07.2019).

Keywords: waterborne transport, safety of navigation, Inland ECDIS, actual depths, water stage gauge, neural network, expert system, a priori estimation.

Scientific papers in which the main scientific results of the dissertation are published:

1. Aleynikov V. M. Using computational intelligence when detecting functional defects in the basic version of the ECDIS software product / V. M. Aleynikov, M. V. Aleynikov, V. V. Doronin // Water transport. Collection of research papers. — 2016. — No. 2 (25). — P. 54 – 63.

2. Aleynikov V. M. Application of criteria for assessing the functional stability of the instrumental method of navigation on the inland waterways of Ukraine / V. M. Aleynikov, M. V. Aleynikov, V. V. Doronin // *Advanced technologies. Collection of research papers.* — 2019. — No. 1 (8). — P. 21-29.
3. Aleynikov, V., Panin, V., Doronin, V. (2018). Application of the System Analysis of Implementation of the Instrumental Method of Navigation on Inland Waterways of Ukraine. *Radio Electronics, Computer Science, Control. The scientific journal of Zaporizhzhia National Technical University*, 2 (45), 125-134 (**Web of Science**).
4. Aleynikov V. M. Methods of implementing computational intelligence using a detailed array of depths in river electronic cartographic systems / V. M. Aleynikov, M. V. Aleynikov, V. V. Doronin // *Bulletin of the Odessa National Maritime University.* - 2018. — No. 1 (54). — P. 158-181.
5. Aleynikov V. M. Context-oriented approach in intelligent processing of data streams from water gauge posts during vessel movement. M. Aleynikov, M. V. Aleynikov, V. V. Doronin // *Scientific Bulletin of the Kherson State Maritime Academy. Scientific journal.* — 2017. — No. 2 (17). — P. 27-35.
6. Aleynikov V. M. Structural transformations of environmental objects in the conditions of river *e*-Navigation / V. M. Aleynikov V. V. Doronin, O. M. Spiyan // *Bulletin of the Odessa National Maritime University.* — 2018. — No. 3 (56). — P. 175-196.
7. Aleinikov, M., Aleynikov V., Doronin, V., Spiian, O. (2019). Automated determination of the limit values of navigation parameters during vessel motion in the conditions of river *e*-navigation. *International Journal of Science and Engineering Investigations (IJSEI)*. Lygten 4C, 2400, Kobenhavn, **Denmark**, Vol. 8 (88), 54 – 61.

Scientific papers certifying the approbation of dissertation materials:

8. Aleynikov V. M. Actual problems of operation of Inland ECDIS on the inland waterways of Ukraine / V. M. Aleynikov // 18th scientific and methodological

conference of teachers, postgraduates and students: materials of the scientific and methodological conference, March 24-28, 2014, Kyiv / Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv State Maritime Academy. — Kyiv : 2014.— P. 81-82.

9. Aleynikov V. M. Current issues of perspective development of electronic cartographic systems in the water area of the Dnipro river / V. M. Aleynikov // 20th scientific and methodological conference of teachers, postgraduates and students: materials of the scientific and methodological conference, March 29-31, 2016, Kyiv / Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv State Maritime Academy. — Kyiv: Kyiv State Maritime Academy, 2016.— P. 122-123.

10. Aleynikov V. M. Application of criteria for assessing the functional stability of the instrumental method of navigation on the inland waterways of Ukraine / V. M. Aleynikov // 21st scientific and methodological conference of teachers, postgraduates and students: materials of the scientific and methodological conference, March 27-29, 2017, Kyiv / Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv State Maritime Academy. — Київ : Kyiv State Maritime Academy, 2017.— P. 117-120.

11. Aleynikov V. M. Method for obtaining differential corrections to the measured depths, which are indicated on the system electronic map / Aleynikov V. M. // Scientific and methodological conference: materials of the scientific and methodological conference, March 26-29, 2018, Kyiv / Ministry of Education and Science of Ukraine, State University of Infrastructure and Technology, 2018. — P. 41-44.

12. Aleynikov V. M. Geometric modeling of nonlinear navigation problems taking into account the influence of a detailed array of depths in electronic cartographic systems / V. M. Aleynikov // First All-Ukrainian scientific and technical conference "Problems of Infocommunications": materials of the scientific and technical conference, November 14-15, 2017, Poltava / Ministry of Education and Science of Ukraine, Poltava National Technical University.— Poltava: NCO Military College of the Military Institute of Telecommunications and Informatization, 2017. — P. 52 – 53.

13. Methods of decision-making in the conditions of uncertainty in the water areas of navigation / V. M. Aleynikov, H. L. Baranov, V. V. Doronin // International scientific

conference "Intellectual Systems for Decision Making and Problems of Computational Intelligence (ISDMCI' 2016), May 24-28, 2016, Kherson. — Kherson: Publisher: PP Vyshemirsky V. S., 2016. — P. 31 – 32.

14. Aleynikov, V. M. (2017). Application of Evaluation Criteria of Functional Sustainability Instrumental Method of Navigation on Ukraine's Inland Waterways / V. V. Doronin, M. V. Aleynikov, V. M. Aleynikov // International Conference (ISDMCI'2017). Intellectual Systems for Decision Making and Problems of Computational Intelligence: Conference Proceedings. – Kherson: PP Vyshemirsky V. S., 2017. 178 – 179 pp.

15. Multi-criteria model of navigation data processing in river electronic cartographic systems / V.M. Aleynikov, M. V. Aleynikov, V. V. Doronin // International scientific conference "Intellectual Systems for Decision Making and Problems of Computational Intelligence" (ISDMCI' 2016), May 21-27, 2018, Kherson. — Kherson: Publisher: PP Vyshemirsky V. S., 2018. – P. 152 – 154.

Scientific papers that additionally reflect the scientific results of the dissertation

16. Patent UA 142156, MIIK H04B 10/40 (2013.01). A method for using a detailed array of depths in n -dimensional space when a ship is moving / V. M. Aleynikov, M. V. Aleynikov, V. V. Doronin, O. M. Spiyan; applicant State University of Infrastructure and Technology of the Ministry of Education and Science of Ukraine. — Application No. u 2019 03335 dated 03.04.2019; published 25.05 in 2020, Bull No 10, 2020.

17. Patent UA, Class, G01C 21/28 series. The method of system analysis of the introduction of *e*-navigation on inland waterways of Ukraine / V. M. Aleynikov, M. V. Aleynikov, V. V. Doronin, O. M. Spiyan; applicant State University of Infrastructure and Technology of the Ministry of Education and Science of Ukraine. — Application No. u 2019 03967 dated 16.04.2019; published in 2020, Bull. 2020.

18. Patent UA 139453 U, IPC G01C 21/28 (2006.01) Method for intelligent processing of navigation data flows in river *e*-navigation / Aleynikov V. M., Aleynikov M. V., Doronin V. V., Spiyan O. M.; applicant State University of Infrastructure and

Technology - No. u201905627; Application dated 24.05.2019; published on 10.01.2020, Bull. No. 1, 2020.

19. Aleynikov V. M. Using computational intelligence when detecting functional defects in the basic version of the ECDIS software product / V. M. Aleynikov, M. V. Aleynikov, V. V. Doronin // Author's right to work No. 3920 dated 05.06.2018; copyright agreement No. 35-18C-HC dated 13.04.2018.

20. Aleynikov V. M. Context-oriented approach in intelligent processing of data streams from water gauge posts during vessel movement. M. Aleynikov, M. V. Aleynikov, V. V. Doronin // Author's right to work No. 3917 dated 05.06.2018; copyright agreement No. 36-18C-HC dated 13.04.2018.

21. Aleynikov V. M. Application of criteria for assessing the functional stability of the instrumental method of navigation on the inland waterways of Ukraine / V. M. Aleynikov, M. V. Aleynikov, V. V. Doronin // Author's right to work No. 3921 dated 05.06.2018; copyright agreement No. 37-18C-HC dated 13.04.2018.

22. Aleynikov V. M. Collection of tasks for laboratory work. Educational and professional program for Master's training / V. M. Aleynikov V. V. Doronin, O. M. Spiyan // Author's right to work No. 3918 dated 05.06.2018; copyright agreement No. 38-18C-HC dated 16.04.2018.

23. Aleynikov V. M. Collection of tasks for laboratory work. Educational and professional program for Bachelor's training / Aleynikov V.M., Doronin V. V., Spiyan O. M. // Author's right to work No. 3919 dated 05.06.2018; copyright agreement No. 39-18C-HC dated 16.04.2018.

ЗМІСТ

ВСТУП	28
РОЗДІЛ 1.	
СУЧАСНИЙ СТАН ВИКОНАННЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИХ ВИМОГ ДО ВІДОБРАЖЕННЯ НАВІГАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ЗАСОБАМИ INLAND ECDIS.....	37
1.1 Додаткові елементи включення до відображення навігаційної інформації в річкових електронно-картографічних засобах	37
1.2 Застосування системного аналізу використання деталізованого масиву глибин при експлуатації Inland ECDIS.....	46
1.3 Генерування множини альтернатив у системному аналізі проблеми з використанням методу сценаріїв і моделі чорного ящика.....	52
1.4 Використання обчислювального інтелекту при виявленні дефектів базової версії програмного продукту Inland ECDIS	69
1.5 Застосування критеріїв оцінки функціональної стійкості системи автоматичного відображення фактичних глибин	78
1.6 Огляд та аналіз літературних джерел за темою дослідження	87
1.7 Основні положення та основні напрями досліджень, що виносяться на захист дисертації.....	92
Висновки до Розділу 1	95
РОЗДІЛ 2.	
МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ІНТЕГРАЦІЇ МЕТОДІВ ВИКОРИСТАННЯ ДЕТАЛІЗОВАНОГО МАСИВУ ГЛИБИН ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ INLAND ECDIS.....	98
2.1 Методологія системної оптимізації структури і стратегії використання деталізованого масиву глибин	98
2.2 Геометричне моделювання функціональних нелінійних задач навігації внаслідок впливу факторів навколишнього середовища.....	106

2.3	Зняття невизначеності ситуаційної динаміки використання деталізованого банку глибин у n -мірному просторі при русі судна.....	109
2.4	Інтелектуальна обробка потоку даних від водомірних постів за символно-формалізованими перетвореннями Лапласа при русі судна.....	116
2.5	Контекстно-орієнтований керований підхід під час використання ансамблю пошукових агентів в інтелектуальній обробці потоків даних від водомірних постів.....	123
	Висновки до Розділу 2	129
РОЗДІЛ 3.		
ФОРМУВАННЯ СТРАТЕГІЇ РОЗВ'ЯЗКУ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТІВ WS ПРИ ВИКОРИСТАННІ INLAND ECDIS В УМОВАХ РІЧКОВОЇ e-НАВІГАЦІЇ		
		131
3.1	Застосування критеріїв інтелектуальної обробки потоків навігаційних даних від WS.....	131
3.2	Розподіл функцій між процедурами розв'язку інтелектуальної обробки потоку даних від WS із застосуванням гібридних нейронечітких моделей	140
3.3	Використання нейромережевої експертної системи у структурі інтелектуальної обробки потоку даних від WS.....	150
3.4	Структурні та диференціальні символні перетворення об'єктів зовнішнього середовища у системі відображення фактичних глибин на електронній карті	158
3.4.1	Генерування множини альтернатив у системі символних перетворень об'єктів зовнішнього середовища.....	160
3.4.2	Розв'язування задачі розміщення WS для отримання оптимального потоку навігаційних даних	165
	Висновки до Розділу 3	166

РОЗДІЛ 4.**ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ МЕТОДІВ І ПОКАЗНИКІВ**

ЕФЕКТИВНОСТІ	169
4.1 Програма експериментальних досліджень запропонованих методів...	169
4.2 Результати і порівняльний аналіз експериментальних досліджень згідно з існуючою та запропонованою технологією	176
4.3 Розрахунок показників та оцінка ефективності запропонованої технології	186
4.4 Сфера застосування розроблених методів і пропозиції щодо подальших досліджень	196
Висновки до Розділу 4	200
ВИСНОВКИ	203
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	206
ДОДАТКИ	222
Додаток А. Список публікацій здобувача, відомості про апробацію і матеріали, які додатково відображають наукові результати дисертації.....	223
Додаток Б. Акти впровадження результатів дисертації.....	227
Додаток В. Перелік основних міжнародних документів, що регламентують установку та експлуатацію НІКС на морських і річкових суднах	235
Додаток Г. Порівняльний аналіз відмінностей стандартів морських і річкових ECDIS	237
Додаток Д. Результати дослідження ефективного несення навігаційної вахти за допомогою засобів електронно-картографічного судноводіння	244
Додаток Е. Основні вимоги міжнародних документів, що пред'являються до Inland ECDIS	253

Додаток Ж. Порівняльний аналіз моделей діагностики мережевих аномалій	260
Додаток З. Щоденна інформація від Річковий інформаційної служби за рівнями води на водомірних постах	261

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- АР – Автоматизоване рішення
- БОН – Безпечна область навігації
- ВВШ – Внутрішні водні шляхи (річкові шляхи)
- ВП (WS) – Водомірний пост
- ВСП – Верхній судноплавний рівень
- ВТЗ – Водні транспортні засоби
- ГЕС – Гідроелектростанція
- ДУІТ – Державний університет інфраструктури та технологій
- ЕК – Електронна карта
- ЕНК – Електронна навігаційна карта
- ЄЕК ООН – Європейська економічна комісія ООН
- ЗНО – Засоби навігаційного обладнання
- ІК – Інтерфейс користувача
- ІМН – Інструментальний метод навігації
- ІС – Інформаційна система
- КДАВТ – Київська державна академія водного транспорту
- НІС – Суднова навігаційно-інформаційна система
- НОН – Небезпечна область навігації
- НП – Навігаційний параметр
- НСР – Нижній судноплавний рівень
- ПЗ – Програмне забезпечення
- РІС (RIS) – Річкова інформаційна служба
- РЛЗ – Радіолокаційне зображення
- СДС – Складна динамічна система
- СЗІМН – Система забезпечення інструментального методу навігації
- СКП – Середня квадратична помилка

СППР	– Система підтримки прийняття рішень
AIS	– Automatic Identification System
ARPA	– Automatic Radar Plotting Aid
CI	– Computational Intelligence (обчислювальний інтелект)
DGPS	– Differential Global Positioning System
ECDIS	– Electronic Chart Display and Information System
ECS	– Electronic Chart System
ENC	– Electronic Navigational Chart
ES	– Expert System (експертна система)
ESNN	– Експертна система на нейронних мережах
ESNN ^P	– Експертна система на нейронних мережах (на прецедентах)
GPS	– Global Positioning System
IEC	– International Electrotechnical Commission
IHO	– International Hydrographic Organization
IMO	– International Maritime Organization
<i>Inf</i>	– Information Mode for Inland ECDIS
Inland ECDIS	– Inland Electronic Chart Display and Information System
MSC	– Maritime Safety Committee
<i>Nav</i>	– Navigation Mode for Inland ECDIS
NN	– Штучна нейронна мережа
NNClass	– Штучна нейронна мережа для класифікації вхідних сигналів
$P_{\delta n}$	– Ймовірність безпечного плавання
RIS	– River Information Service
SOLAS	– The International Convention for the Safety of Life at Sea
SENC	– System Electronic Navigational Chart
WS	– Water Station (водомірний пост)

ВСТУП

Найбільш важливою проблемою сучасної ефективної експлуатації водних транспортних засобів (ВТЗ) є питання безпеки судноплавства. На підставі отриманих даних динаміки аварійності на водному транспорті за останні роки можна стверджувати, що аварійність залишається на тому ж рівні, а найбільший відсоток припадає на аварії в умовах обмеженого маневрового простору (річки, портові зони, прибережне плавання). Кожне третє чи четверте судно валовою місткістю понад 500 рег. тонн щорічно терпить аварію.

За даними організацій, які розслідують аварійні випадки, від 70 до 90 відсотків усіх навігаційних аварій відбувається з вини екіпажів суден. За повідомленнями International Maritime Organization (ІМО) і Європейської економічної комісії ООН (ЄЕК ООН) за 2017 рік кількість загиблих склало 20, травмовано 13 членів екіпажів (табл. 1 та рис. 1).

Найбільш суспільно резонансною була аварія з судном «Іволга» біля входу в порт Білгород-Дністровський, під час якої 20 осіб загинуло та 2 особи вважаються такими, що зникли без вісті. Ця аварійна подія явилась яскравим прикладом того, що на судах, особливо у районах обмеженого маневрового простору, необхідно комплексно застосовувати засоби і системи автоматизації судноводіння: як на судах, так і у берегової інфраструктурі.

Таблиця 1 – Стан аварійності на морському та річковому транспорті

Рік	Кількість аварійних подій	Кількість загиблих та зниклих без вісті в аварійних подіях	Травмовано під час аварійних подій
2010	101	26	12
2011	72	7	10
2012	50	20	12
2013	40	25	14
2014	18	13	9
2015	32	41	25
2016	58	6	17
2017	75	20	13

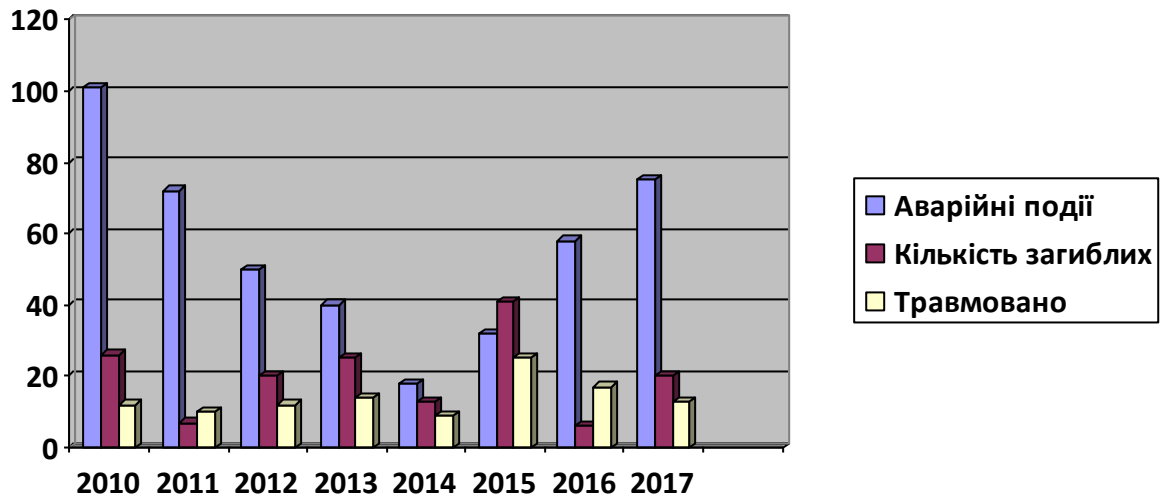


Рисунок 1 – Статистичні дані аварійності за 2010 – 2017 р.р.

Другий приклад: трагедія теплохода «Звезда Востока» на річці Янцзи, де з 458 пасажирів вдалося врятувати лише 14. Залежно від типу аварії відбувалося повне знищення вантажу з заподіянням екологічних наслідків.

З іншого боку, суднобудування постійно розвивається. Залежно від потреб перевезення збільшеної кількості вантажів будуються судна великих габаритів. Зрозуміло, що одним із небезпечних факторів є збільшення осадки судна.

Останнє десятиліття характеризується розвитком морської електронної картографії, створенням суднових автоматизованих систем і приладів, які дозволяють відображати на електронній карті місце судна і навігаційно-гідрографічну інформацію. Мета створення цих систем – докорінно покращити організацію роботи вахтового помічника, підвищити її ефективність та знизити аварійність на водному транспорті.

Експлуатація ВТЗ у сучасних умовах інтелектуалізації системи прийняття рішень вимагає подальшого підвищення безпеки руху ВТЗ на внутрішніх водних шляхах (ВВШ) України. Багатокритеріальні вимоги до експлуатаційних режимів управління рухом ВТЗ, насамперед на стислих габаритних смугах ВВШ, породжують труднощі з реалізацією обчислювального інтелекту. За допомогою сучасних комп'ютерних, інформаційних та телекомунікаційних технологій він поки ще не здатний за критерієм обчислювальної складності зменшити показник аварійності суден [49].

В якості головної відмінної особливості ВВШ від морських водних шляхів необхідно виділити нестабільність глибин, русел річок і характеристик водних потоків. Так, наприклад, на річці Дніпро суттєві зміни суднового ходу можуть спостерігатися протягом однієї навігації. При цьому важливо відзначити, що подібним переформовуванням річкового русла властиві випадковість і неоднорідність глибин. У даний час відсутній системний науково обґрунтований підхід до автоматизації і періодичності оновлення діючих глибин на річкових електронних картах з урахуванням особливостей ВВШ. Це, безумовно, вимагає реалізації обчислювального інтелекту для автоматизації нанесення фактичних глибин на електронні карти для підвищення ефективності експлуатації ВТЗ [15].

Обґрунтування вибору теми дослідження. Проблема пошуку методів для високоефективного і безпечного руху ВТЗ з дотриманням вимог охорони навколишнього середовища на річці Дніпро, була та залишається актуальною. За даними Державної служби морського та річкового транспорту України рівень аварійності не знизився незважаючи на значні зусилля науковців щодо вирішення проблем безпеки та організації ефективної роботи ВТЗ. Продовжують траплятися посадки суден на мілину, зіткнення суден, а найбільший відсоток припадає на аварії в умовах обмеженого маневрового простору (річки, портові зони, прибережне плавання).

В якості головної відмінної особливості судноводіння на ВВШ необхідно виділити нестабільність глибин, русел річок, тому є ризики у визначенні фактичної глибини, висоти проходу під мостами, лініями електропередач та інше. Використовуючи річкові електронні карти із застарілим масивом глибин, судноводій буде введений в оману і виникнуть відомі передумови з вирішенням проблем безпеки судноводіння. Аналіз сучасних досліджень науковців у галузі річкового і морського транспорту показує, що у даний час відсутній системний науково обґрунтований підхід до автоматизації відображення фактичних глибин на річкових електронних картах. Є потреба в покращенні стандартів роботи з ергатичними системами, а також в їх розвитку у таких напрямках, як використання деталізованого масиву глибин та вибору ефективного та безпечного шляху.

Завдання, пов'язані з використанням електронно-картографічних засобів на ВВШ, стають особливо актуальними у зв'язку із введенням в дію наказу Міністерства інфраструктури України від 25.02.2011 № 7 щодо оснащення всіх категорій річкових суден обладнанням Inland ECDIS починаючи з 2017 р. Але разом з тим, слід зазначити, що наказ Міністерства інфраструктури України вийшов, але з наукової та практичної точок зору не ясно як виконувати.

Тому розробка і впровадження методів реалізації обчислювального інтелекту при використанні деталізованого масиву глибин в річкових електронно-картографічних системах є актуальною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами ґрунтується на узагальнених результатах досліджень, виконаних автором відповідно до положень Транспортної стратегії України на період до 2020 р. (розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р., №2174-р), рішення Ради національної безпеки і оборони України від 16.05.2008 р. «Про заходи щодо забезпечення розвитку України як морської держави» (указ Президента України від 20.05.2008 р. №463 / 2008), а також у межах Галузевої програми забезпечення безпеки судноплавства на 2019 – 2021 роки.

Робота пов'язана з результатами наукових програм, планів, директив:

1. Програма дій інтеграції європейського судноплавства – NAIADES.
2. Директива 2005/44/ЄС Європейського парламенту та Ради Європи від 07.09.2005 р. стосовно гармонізації річкових інформаційних служб на ВВШ держав Співдружності відповідно до діючих європейських стандартів безпеки судноплавства.
3. Стратегічний план розвитку річкового транспорту на період до 2020 року (наказ Міністерства інфраструктури України від 18 грудня 2015 № 543).
4. Рішення вченої ради КДАВТ від "29" серпня 2016р., протокол № 1 «Методи забезпечення безпеки руху водного транспорту при використанні деталізованого масиву глибин в річкових електронно-картографічних системах» (реєстраційний номер № ID:64940 27.08.2016 (398-1)).

Мета і завдання дослідження. Метою досліджень є підвищення ефективності експлуатації засобів водного транспорту на річці Дніпро шляхом розробки нових методів, що дозволяють автоматизувати відображення фактичних глибин в електронно-картографічній системі.

Для досягнення поставленої мети сформульовані такі основні завдання:

1. Проведення аналізу сучасного стану експлуатації ВТЗ на підставі експлуатації засобів річкової електронно-картографічної навігації.
2. Застосування методологічних засад реалізації обчислювального інтелекту при використанні деталізованого масиву глибин в Inland ECDIS в умовах експлуатації на річці Дніпро.
3. Розробка комплексних методів ефективного використання водного транспорту на підставі впровадження методів реалізації обчислювального інтелекту при використанні деталізованого масиву глибин в Inland ECDIS з дотриманням вимог з безпеки руху.
4. Вирішення основної наукової задачі, яка впливає у зв'язку із впровадженням методів реалізації обчислювального інтелекту при використанні деталізованого масиву глибин в Inland ECDIS.
5. Проведення апріорної оцінки і імітаційного моделювання з визначенням показників ефективності запропонованих методів ергатичного використання водного транспорту з електронно-картографічними засобами.

Об'єкт дослідження – процеси експлуатації водних транспортних засобів на річці Дніпро.

Предмет дослідження – методи, що визначають структуру і обробку даних у електронно-картографічних засобах річкового судноводіння.

Методи дослідження. У дисертаційному дослідженні для пошуку рішень поставлених завдань були застосовані методи: системного аналізу при формуванні технології наукового дослідження і основних підходів вирішення проблеми автоматизованого зображення фактичних глибин на SENC, який гарантує високу якість моделювання згідно з точнісними критеріями судноплавства і економічності; дослідження операцій для декомпозиції наукової задачі дисертації

на незалежні складові; математичного аналізу для складання і вирішення диференційних рівнянь передачі автоматизованих поправок до глибин від водомірних постів; аналітичної геометрії для формалізації області небезпечних областей навігації з лімітованими глибинами; метод інтерпретації та експериментальної перевірки висновків і рекомендацій. Усі прийняті методичні рішення зафіксовані згідно з методиками експерименту. При застосуванні методик експерименту використаний не тільки особистий досвід, але й досвід провідних вітчизняних і зарубіжних дослідників. Основою методики є сучасні інтегровані математичні методи обробки і аналізу дослідних даних – встановлення емпіричних залежностей, встановлення критеріїв та інтервалів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в створенні нового методу автоматизованого відображення фактичних глибин на єдиній електронній карті на підставі отримання диференційованих поправок від водомірних постів, який відрізняється визначенням небезпечної області навігації (НОН) в n -мірному просторі при русі судна.

У дисертаційній роботі отримані результати, що містять наукову новизну:

- вперше запропонована модель оптимізації структури відображення фактичних глибин на SENC, яка відрізняється від відомих раніше інтеграцією (методів) процедур системного та ситуаційного аналізу, в різних надзвичайних умовах річкового судноводіння;
- вперше отримана математична модель автоматизованого визначення диференціальних поправок до глибин, які позначені на SENC, яка дозволяє, на відміну від існуючих, забезпечити відображення фактичних глибин на SENC для розв'язання оперативних задач навігації згідно з точнісними критеріями судноплавства;
- удосконалено метод забезпечення функціональної стійкості системи автоматичного відображення фактичних глибин на SENC, що дозволяє, на відміну від існуючих, забезпечити своєчасне виявлення мережевих аномалій у системі;
- набуло подальшого розвитку метод застосування нейронних мереж шляхом розв'язання процедури класифікації вхідних сигналів і обчислення зворотного

поширення помилки, що дозволяє, на відміну від існуючих, підвищити точність визначення фактичних глибин на SENC.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що вони можуть бути використані на судах в процесі їх експлуатації, а також використані розробниками навігаційних інформаційних систем, призначених для навігаційно-гідрографічного забезпечення процесу судноводіння.

Цінність очікуваних результатів полягає у забезпеченні ефективного функціонування водного транспорту шляхом підвищення ефективності функціонування електронно-картографічних засобів з дотриманням безпеки руху та вимог охорони навколишнього середовища на річці Дніпро. Практична цінність дисертаційного дослідження випробувана шляхом використання в навчальному процесі КІВТ ДУІТ при викладанні дисципліни «Навігаційні інформаційні комп'ютерні системи з ЕК» (акт від 05.02.2019). Матеріали дисертаційного дослідження також використовуються в тренажерній підготовці в Київському Центрі підготовки, перепідготовки та підвищення кваліфікації фахівців водного транспорту за напрямками «Використання електронних картографічних та навігаційно-інформаційних систем (ЕКНІС)» і «Використання електронних картографічних та навігаційно-інформаційних систем на ВВШ» (акт від 26.12.2018), в Центрі підготовки фахівців морського та річкового транспорту "Укрводшлях – Training" за напрямом «Використання електронних картографічних та навігаційно-інформаційних систем на ВВШ» (акт від 14.03.19). Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені: в судноплавній компанії «Південне річкове пароплавство» (акт від 12.09.2018), в Річковій інформаційній службі філії «Дельта-лоцман» (акт від 07.03.2019), в ДУ «Держгідрографія» (акт від 26.02.2019), на борту суден «Vectis Isle» (акт впровадження від 15.11.2018) і судна «Wilson Gaeta» (акт впровадження від 10.07.2019).

Особистий внесок здобувача. Постановка мети та завдань, обговорення результатів проведені разом з науковим керівником: здійснений інформаційний

пошук і виконаний аналіз основних підходів вирішення досліджуваної проблеми забезпечення безпеки судноводіння, обґрунтовано методологічне забезпечення дослідження, розроблений і викладений метод розрахунку повного математичного виразу для автоматизованого надходження диференціальних поправок до вимірних глибин, які позначені на SENC; розроблені необхідні алгоритми для формування функціональної стійкості системи передачі диференційних поправок до глибин; виконані експериментальні дослідження, здійснена апріорна оцінка ефективності пропонованої технології з застосуванням методів математичного моделювання.

Співавторами наукових праць є науковий керівник та науковці, спільно з якими проведені дослідження. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, дисертанту належить фактичний матеріал і основний творчий доробок: розробка алгоритму використання обчислювального інтелекту при виявленні дефектів функціонування базової версії програмного продукту ECDIS [10]; визначення критеріїв оцінки функціональної стійкості інструментального методу навігації на ВВШ України [11]; формалізація системного аналізу впровадження ІМН на ВВШ України [12]; розробка і формалізація процедури передачі автоматизованих поправок від водомірних постів (WS) [13]; математична і графічна обробка елементів контекстно-орієнтованого підходу в інтелектуальній обробці потоків даних від водомірних постів при русі судна [14]; процедура структурних перетворень об'єктів зовнішнього середовища в умовах річкової е-навігації [15]; побудова математичної моделі автоматизації відображення фактичних глибин на SENC із застосуванням нечіткої логіки та ймовірнісних перетворень Лапласа [122]; формалізація системного аналізу впровадження е-навігації на ВВШ [123]; застосування штучних гібридних нейро-нечітких моделей у процедуру автоматизованої обробки певних класів вхідних сигналів [124]; визначення навігаційних параметрів для задач стабілізації руху судна [142].

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідалися, і були схвалені на наукових конференціях: науково-методична конференція викладачів, аспірантів та студентів (Київ, 24-28 березня 2014 р); 20-та науково-

методична конференція викладачів, аспірантів та студентів (Київ, 29-31 березня 2016 р.); «Міжнародна наукова конференція «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту» (с. Залізний Порт, 24-28 травня 2016 р.); 21-ша науково-методична конференція викладачів, аспірантів та студентів (Київ, 27-29 березня 2017 р.); International Conference «Intellectual Systems for Decision Making and Problems of Computational Intelligence» (Kherson, May 22-26 2017); Перша всеукраїнська науково-технічна конференція «Проблеми інфокомунікацій» (Полтава, 14 – 15 листопада 2017 р.); Науково-методична конференція (Київ, 27-29 березня 2018 р.); Міжнародна наукова конференція «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту» (Херсон, 21-27 травня 2018 р.).

Публікації. За результатами виконаних досліджень автором опубліковані 23 наукових праці, включаючи: 5 статей в виданнях, що входять до переліку МОН України [10, 11, 13-15], 1 статтю у виданні, що входить до міжнародної наукометричної бази даних Web of Science (Q-2) [12], 1 статтю у періодичному науковому виданні Данії, яка входить до Європейського Союзу [142]; 3 патенти [122–124]; в збірниках матеріалів наукових конференцій опубліковано 8 доповідей [2–9]. Додатково отримано 5 свідоцтв права автора на твір.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, 8 додатків і списку використаних джерел (144 найменування). Загальний обсяг роботи складає 261 сторінку, у тому числі: 167 сторінок основного тексту, 47 рисунків (на 25 сторінках), 23 таблиць (на 15 сторінках), 39 сторінок додатків, список використаних джерел на 15 сторінках.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ВИКОНАННЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИХ ВИМОГ ДО ВІДОБРАЖЕННЯ НАВІГАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ЗАСОБАМИ INLAND ECDIS

1.1. Додаткові елементи включення до відображення навігаційної інформації в річкових електронно-картографічних засобах

Сучасний етап розвитку інтелектуальних технічних засобів характеризується появою на водному транспорті значної кількості зразків навігаційної техніки нового покоління, яким властиві покращені експлуатаційні характеристики.

Суднова навігаційно-інформаційна система (НІС) – це засіб, який здійснює зберігання, отримання, обробку інформації, необхідної при проведенні судна з порту відходу до порту призначення, і відображає результати обробки на електронній карті (ЕК) у вигляді, що полегшує виконання безпечного і ефективного судноводіння [33, 44].

Основне призначення НІС – створення умов для безпечного використання водного транспорту, захист навколишнього середовища, ефективність перевезень вантажів на морі та на річці.

НІС – це система, орієнтована на судноводія. Вона повинна мати інформаційно-комунікаційні можливості, що дозволяють забезпечувати вахтового помічника в реальному часі чіткою, надійною інформацією, необхідною для прийняття рішень по управлінню судном.

НІС є багатофункціональним обладнанням. Для виконання своїх завдань НІС використовує інформацію практично від усіх навігаційних датчиків. Інформацію вахтовому помічнику надається в інтегрованому вигляді на ЕК.

Системи відображення карт та інформації різняться за рівнем вимог, що до них пред'являються, та за можливостями відображення навігаційно-гідрографічної інформації на екрані монітора.

Відповідно до рівня автоматизації операцій інформаційних ресурсів та функціональних можливостей НІС розділяють на три групи: ECDIS, ECS, ECDIS / ECS [33, 44].

ECDIS – це НІС, яка відповідає спеціальним вимогам ІМО, ІНО, ІЕС та згідно з Конвенцією SOLAS-74 є альтернативною заміною паперових навігаційних карт.

ECS – це НІС, яка не в повній мірі відповідає вимогам, що пред'являються до ECDIS. ECS може використовуватися на судні тільки як допоміжна система. Наявність паперової карти, «піднятої» до рівня сучасності, є обов'язковою умовою для експлуатації такого судна. ***Застосування ECS не звільняє судноводія від ведення прокладки на паперових картах*** [33, 44].

Навігаційно-інформаційні системи для суден внутрішнього плавання, як і морські НІС, поділяють на ECDIS і ECS. ECDIS для внутрішніх водних шляхів також вважаються основним напрямом розвитку судових навігаційних систем.

Метою створення Inland ECDIS стала необхідність створення умов для безпечного використання річкового водного транспорту, збереження чистоти навколишнього середовища та забезпечення ефективності перевезення вантажів на внутрішніх водних шляхах. Inland ECDIS не потрібно мати повних функціональних можливостей однойменних морських систем, але вони повинні бути сумісними. Необхідно, щоб ECDIS відповідали особливостям навігації на річках. Крім того, Inland ECDIS повинні стати ланками інтегрованої інформаційної системи для управління транспортними потоками на внутрішніх водних шляхах [51].

Експлуатаційні і технічні вимоги до Inland ECDIS визначені стандартами та резолюціями СЕК ООН, Дунайської комісії, Центральної комісії судноплавства по Рейну.

У додатку В наводиться актуалізований перелік основних міжнародних документів, що регламентують установку та експлуатацію НІС на суднах. Знання цих стандартів дозволяє об'єктивно оцінювати переваги і недоліки існуючих зразків НІС.

Inland ECDIS на відміну від морських ECDIS, набагато менше вивчені. Цій системі надається менше уваги, проте Inland ECDIS також є дуже важливою системою. Так, на відміну від морських систем, для Inland ECDIS відсутні вимоги і умови щодо альтернативної заміни паперових річкових навігаційних карт. Це питання до теперішнього часу залишається відкритим і потребує додаткового вивчення [33].

Для визначення напрямку дисертаційного дослідження в додатку Г приведено порівняльний аналіз відмінностей стандартів морських і річкових ECDIS.

Необхідно відзначити, що ідея створення стандарту Inland ECDIS полягала в тому, щоб пристосувати ECDIS для цілей внутрішнього судноплавства та доповнити ECDIS деякими характерними для внутрішнього судноплавства параметрами без зміни самого стандарту ECDIS. Таким чином забезпечена сумісність первісної морської системи ECDIS з Inland ECDIS. Це має важливе значення при плаванні по гирлових ділянках річок, які використовуються як морськими суднами, так і суднами внутрішнього плавання. Перш за все це стосується стандартів [130]:

ІМО А.817 (19): Експлуатаційні вимоги до ECDIS, листопад 1995 року;

ІНО S-57: Стандарт передачі цифрових гідрографічних даних, видання 3.1, листопад 2000 року;

ІНО S-52: Специфікація змісту карт і аспектів відображення ECDIS, видання 5, грудень 1996 року;

ІЕС 1174: ECDIS - Експлуатаційні вимоги та робочі характеристики, методи їх перевірки і необхідні результати перевірки, грудень 1996 року.

Необхідність таких доробок визначається відмінностями навігації на внутрішніх водних шляхах від морського судноводіння.

Структура стандарту Inland ECDIS рознесена по розділах та додатках [130].

У першому розділі мова йде про експлуатаційні вимоги до Inland ECDIS і даються стандарти до: змісту, забезпечення і оновлення, картографічної інформації, відображення інформації, функціонування, індикації і аварійно-попереджувальні сигнали, процедури нейтралізації несправностей, та про джерела

живлення в навігаційному режимі.

У другому розділі дається інформація про стандарт даних для ЕНК ВС і даються стандарти до: галузі застосування, теоретичної моделі даних, структури даних, специфікації продукції; у розділі 2а – коди виробників і водних шляхів.

У третьому розділі дається інформація про стандарти відображення для Inland ECDIS. Міститься опис стандарту, що підлягає використанню з метою відображення даних Inland ECDIS. Слід зазначити, що результати аналізу стандарту покладені в основу вибору теми дисертації. Цей стандарт відображення ґрунтується на документі МГО "S-52, Specification for Chart Content and Display Aspects of ECDIS, Edition 5.0 of December 1996 року", з усіма доповненнями і додатками до нього. Відображення карти генерується в реальному часі в програмі Inland ECDIS. У стандарті S-52 містяться всі правила, необхідні для використання символів і відображення ЕНК на екрані.

Розділ четвертий – Експлуатаційні вимоги та робочі характеристики, методи перевірки і необхідні результати перевірки.

Розділ п'ятий – Ключові терміни, додатки: Статус специфікацій продукції для ЕНК ВС, включаючи:

- статус каталогу характеристик ЕНК ВС;
- статус керівництва з кодування ЕНК ВС;
- статус кодів виробників і водних шляхів;
- статус бібліотеки відображення для Inland ECDIS.

Як і морська система, Inland ECDIS включає в себе апаратне, інформаційне, програмне забезпечення, засоби спілкування з оператором і периферійні пристрої. Ця система відображає картографічну інформацію, дані навігаційних приладів і результати моніторингу процесу судноводіння. В Inland ECDIS застосовують річкові ENC і неофіційні растрові та векторні карти. У випадку застосування неофіційних карт Inland ECDIS переходить у розряд ECS [44].

На рис. 1.1 ÷ 1.4 наведені конфігурації Inland ECDIS в залежності від проектів і цільового призначення суден. [130]

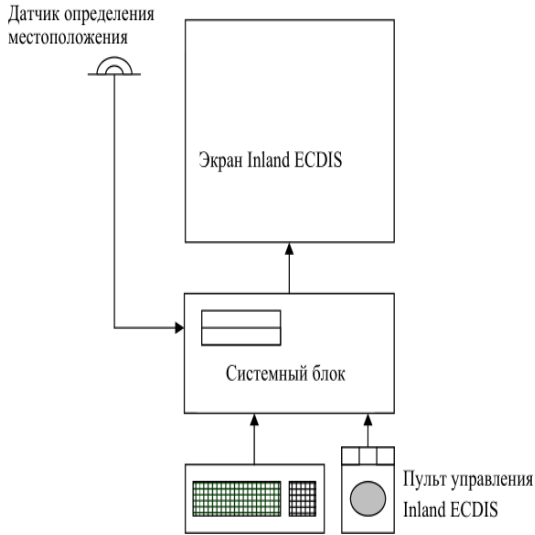


Рисунок 1.1 – Устаткування Inland ECDIS, автономна система без підключення до радіолокатора

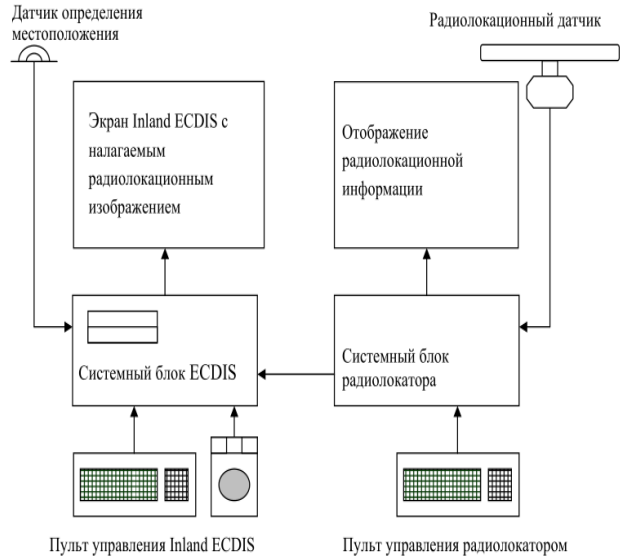


Рисунок 1.2 – Устаткування Inland ECDIS, автономна система з підключенням до радіолокатора

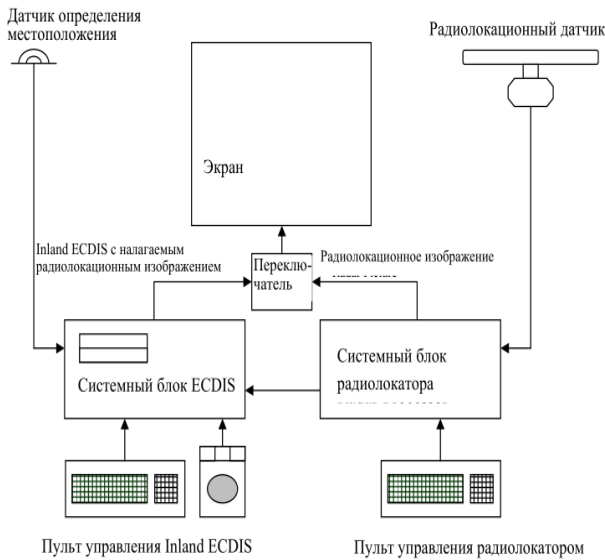


Рисунок 1.3 – Устаткування Inland ECDIS з підключенням до радіолокатора і загального екрана

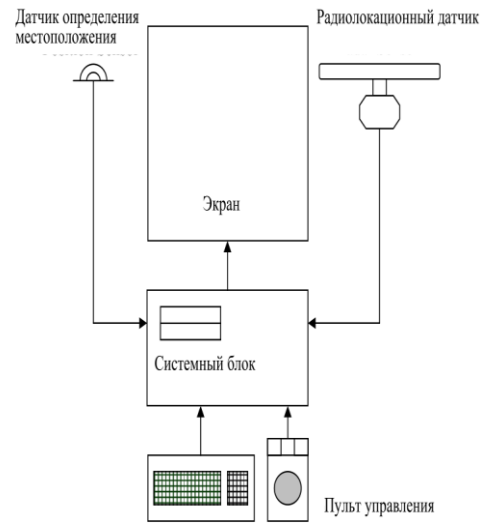


Рисунок 1.4 – Радіолокаційне обладнання з вбудованими функціями Inland ECDIS

Для забезпечення відповідності спеціальним умовам плавання по ВВШ в Inland ECDIS, порівняно з морськими ECDIS, введено нові функції [44]:

- подання інформації про засоби навігації (види буїв, знаки, покажчики) і текстів у спеціальному вікні на дисплеї ECDIS;
- показ ізобат для дійсного рівня води і відображення індивідуальної судноплавної полоси для судна залежно від обраної його осадки;
- змінювана в часі інформація про глибину на ЕНК повинна відображатися незалежно від категорій відображення;
- накладення на ЕК радіолокаційного зображення з автоматичним суміщенням його з картою. У навігаційному режимі радіолокаційне зображення повинно відображатися на дисплеї в першочерговому порядку, причому тільки в режимі відносного руху з орієнтацією по курсу;
- інтегроване відображення має відповідати вимогам, що пред'являються до радіолокатора на внутрішніх водних шляхах та в цьому стандарті;
- у навігаційному режимі SENC повинна автоматично відключатися, якщо визначене місце розташування не відповідає радіолокаційному зображенню;
- замість наявних у морських ECDIS режимів «Виконавча прокладка», «Планування шляху» для Inland ECDIS встановлені режими «Інформаційний» та «Навігаційний»;
- навігаційний режим означає використання Inland ECDIS з метою управління судном з накладенням радіолокаційного зображення;
- використання в Inland ECDIS обов'язкової автоматичної коректури;
- у навігаційному режимі допускається лише послідовне перемикання шкал дальності (масштабів);
- основний вид орієнтування зображення – орієнтування по курсу;
- основний режим – режим відносного руху;
- відсутні вимоги і умови щодо альтернативної заміни паперових річкових навігаційних карт.

В останні роки установка електронно-картографічних систем на річкові судна носила необов'язковий характер. На теперішній час процес впровадження сертифікованих електронно-картографічних систем набув системного характеру.

Відповідно до наказу Міністерства інфраструктури України від 25.02.2011 № 7 передбачена обов'язкова установка нового електронного обладнання на річкові судна, які здійснюють плавання по ВВШ України, починаючи з 2017 р.

В роботі [16] проведені дослідження із забезпечення ефективного несення навігаційної вахти за допомогою засобів електронно-картографічного судноводіння з дотриманням вимог з безпеки руху та охорони навколишнього середовища. Аналіз алгоритму дій вахтового помічника капітана свідчить про трудомісткість окремих операцій на етапах несення навігаційної вахти та підготовки судна до рейсу. Трудомісткість таких операцій можна значно зменшити шляхом застосування засобів електронно-картографічної інтелектуалізації. Визначенні шляхи прискорення отримання навігаційної інформації для ефективного використання електронно-картографічних засобів при несенні навігаційної вахти. В результаті розроблений алгоритм дій вахтового помічника при керуванні судном за допомогою електронно-картографічних засобів (додаток Д).

В Резолюції ЄЕК ООН № 57 «Керівні принципи та рекомендації для річкових інформаційних служб РІС» надаються стандарти, вимоги, керівництва та критерії до системи РІС.

Головне завдання РІС – забезпечувати безпеку судноплавства, ефективність перевезень внутрішніми водними шляхами та охорону навколишнього середовища, покращувати взаємодію з іншими видами транспорту (морським, автомобільним та залізничним).

Що стосується національного законодавства, то наказом Міністерства інфраструктури України № 7 від 25.02.2011 «Про комплекс заходів щодо створення річкової інформаційної служби на внутрішніх водних шляхах України» затверджено «Положення про річкову інформаційну службу на внутрішніх водних шляхах України». Це Положення встановлює організаційно-правовий статус, функції та права річкової інформаційної служби, дає поняття про структуру РІС. У цьому Положенні є інформація про зону дії РІС (українські ділянки р. Дунай та р. Дніпро).

У результаті аналізу міжнародних та національних вимог до сучасних засобів навігаційного забезпечення, аналізу функціонування Центру підготовки фахівців морського та річкового транспорту «Укрводшлях – Training» для організації експлуатації електронно-картографічних навігаційних систем встановлено, що функціональні можливості Inland ECDIS, що складають інтерактивне управління елементами мультимедійного простору інтелектуального терміналу, повинні бути розширені додатковими елементами навігаційних завдань. Елементи включення наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Додаткові елементи включення навігаційних завдань Inland ECDIS

№ з/п	Тренажерне обладнання	Режими Inland ECDIS	Елемент включення
1	Inland ECDIS SEE MY ENC, версія 2,0	Навігаційний режим. Інформаційний режим	Вимоги і умови щодо альтернативної заміни паперових річкових навігаційних карт при використанні Inland ECDIS
2	Inland ECDIS SEE MY ENC, версія 2,0	Навігаційний режим.	Встановлення характеристик, які повинні перевірятися при використанні навігаційного режиму
3	Inland ECDIS SEE MY ENC, версія 2,0	Навігаційний режим. Інформаційний режим	Використання в SENC автоматичного оновлення річкових ENC
4	Inland ECDIS SEE MY ENC, версія 2,0	Навігаційний режим	Автоматизований розрахунок величини зміщення ENC при накладанні радарного зображення.
5	Inland ECDIS SEE MY ENC, версія 2,0	Навігаційний режим	Автоматизований розрахунок точності, необхідної для створення тактичних і експлуатаційних умов судноплавства
6	Inland ECDIS SEE MY ENC, версія 2,0	Навігаційний режим. Інформаційний режим	Автоматизований показ глибин та ізобат для дійсного рівня води
7	Inland ECDIS SEE MY ENC, версія 2,0	Навігаційний режим. Інформаційний режим	Використання обчислювального інтелекту при виявленні дефектів функціонування базової версії програмного продукту Inland ECDIS

Внутрішні та зовнішні зв'язки при експлуатації Inland ECDIS, яка є складною динамічною системою (СДС), можна формалізувати у виді єдиної структурної моделі.

$$\left\{ \begin{array}{l} M(R) = (G, \Omega, R); \\ M(G) = (G_1, G_2); \\ M(G) = (G_i, G_j); \\ R = (\sum p); \\ \sum p = \sum_{i=1}^n p_i + \sum_{j=1}^k p_j, \end{array} \right. \quad (1.1)$$

де G – множина елементів, що утворюють інтелектуальну підсистему СДС;

G_i – множина обов'язкових елементів, визначених стандартом Inland ECDIS [додаток E];

G_j – множина елементів (таблиця 1.1);

Ω – режими роботи підсистеми (навігаційний Ω_i , інформаційний Ω_j);

$R = (\sum p)$ – набір правил, які встановлюють взаємовідношення зв'язків p в інтелектуальній підсистемі СДС.

У таблиці 1.1 наведено елементи включення, які складаються з різних класів перетворювачів. Задаючи параметри можна обчислювати відповідними значеннями в залежності від конкретного аналітичного закону $F(t, C)$, де t – параметр, що виконує розгортку з необхідним заданим кроком, C – набір заданих *const*. Одновходові та одновихідні функціональні перетворення в таблиці 1.1 можна виразити у вигляді

$$y = \Psi(x, C) \quad (1.2)$$

Функціональні перетворення можуть бути з диференціальними, інтегральними членами або гібридні. Основна формалізація, що ґрунтується на інтегро-диференціальних рівняннях забезпечує ефективне системно-аналогове моделювання підсистеми СДС. Алгебраїчні співвідношення реалізуються через системи лінійних або нелінійних алгебраїчних співвідношень [122].

1.2. Застосування системного аналізу використання деталізованого масиву глибин при експлуатації Inland ECDIS

Запропонована модель відноситься до сучасної автоматизованої системи відображення фактичних глибин на SENC річкової електронно-картографічної системи в умовах навігації на річкових внутрішніх водних шляхах України. Проблема полягає в недосконалості діючого на даний час способу системного аналізу, який не здатний за критеріями судноплавства зменшити показники аварійності суден.

На теперішній час проведення аналізу дій над матеріальними об'єктами, що входять в автоматизовану систему відображення фактичних глибин (рис. 1.7), свідчить про неможливість дотримання таких елементів безпечного руху, як позначення фактичних глибин на карті в умовах часової невизначеності, визначення габаритів суднового ходу згідно з точнісними критеріями судноплавства, впливу осадки судна на запас глибини під кілем судна, застосування даних від водомірних постів в умовах часової невизначеності, використання РС, мінімальної дистанції D_{\min} до небезпек. Це характеризує невиконання поставлених завдань з ймовірності безпечного плавання [12, 123]

$$P_{\text{бп}} = 1 - \exp(-D_{\min}/M)^2 \geq 95\%.$$

Аналіз вимірювань показав, що мають місце такі обставини, як не видимі в постійному режимі параметри рівнів води і безпечної глибини, відсутня автоматична коректура карт, не визначені значення нуля глибин в абсолютній системі відліку за даними карти і Річкової інформаційної служби, відсутність на річкових суднах річкових електронно-картографічних систем і radar.

Таким чином, діючий на даний час спосіб не забезпечує вирішення комплексних завдань щодо впровадження сучасної автоматизованої системи відображення фактичних глибин на SENC. Звідси і методи діючого способу

вирізняються спрощеністю. Так, його ґрунтують на розгляді не як системного об'єкта, а як простої суми властивостей елементів з однотипними багаторівневими зв'язками. Такий підхід не відображає сучасні закономірності функціонування складного об'єкта через існуючі локальні, галузеві завдання і принципи забезпечення його життєвого циклу [12, 123].

Розв'язання зазначеної проблеми полягає в застосуванні такого способу системного аналізу, який забезпечуватиме значно більшу точність зображення глибин, усуватиме суттєву неоднозначність, розпливчастість та непередбачуваність ситуацій екстремального, ризикованого характеру для виконання завдань з підвищеною ймовірністю безпечного плавання $P_{\text{бп}} > 95 \%$. Запропонований спосіб гарантуватиме високу ефективність і якість використання водних транспортних засобів згідно з точнісними критеріями судноплавства і економічності. Забезпечуватиме безперервне автоматичне відображення фактичних глибин на електронній карті, автоматичне усунення помилок при невідповідності висотної і горизонтальної основи карти, плавання суден в будь-який час доби незалежно від погодних умов, підвищення точності навігаційних параметрів і поправок до глибин на 10 %; скорочення часу для прийняття рішення щодо забезпечення безпеки судноплавства вахтовим помічником капітана в 10 разів; підвищення ефективності несення навігаційної вахти в частині скорочення часу на виконання завдання з визначення безпечних глибин на фарватері на 30 %; підвищення ймовірності безпечного плавання до 0,97 [12, 123].

Модель автоматизованого показу дійсного масиву глибин на SENC враховує функціональну стійкість системи відображення фактичних глибин з множиною допустимих станів об'єктів. На базі моделі здійснюється новий процес вимірювання з використанням гібридної нейро-нечіткої моделі. Процес вимірювань здійснюють з залученням Inland ECDIS. Точність і достовірність забезпечують шляхом навчання нейронної мережі з застосуванням нейро-нечіткої експертної системи. Аналіз та діагностику мереж зводять до пошуку відхилень від нормального режиму функціонування – мережевих аномалій. На відміну від

звичайних експертних систем у системі такого типу оперують недостовірними і неповними даними [12, 123].

Технічна суть і принцип функціонування діючої моделі.

Початкова вибірка для діючого системного аналізу полягає у наступному:

$$A = \{a_k\}, Z_i = \{z_{kn}\}, Q = \{q_{kn}\}, D = \{A, Q\},$$

де $A = \{a_i\}$ – множина елементів системи відображення глибин; $Z_i = \{z_{kn}\}$ – стан елемента системи відображення глибин; $Q = \{q_{kn}\}$ – множина зв'язків між елементами системи; $D = \{A, Q\}$ – сукупність елементів системи і зв'язків між ними [12, 123].

Це не відповідає закономірностям функціонування сучасної системи через принципи забезпечення її життєвого циклу.

Технічна суть і принцип функціонування пропонованої моделі.

В пропонованій моделі сучасну систему розглядають як системний об'єкт з урахуванням її системного характеру, тобто не як єдине ціле, а як комплекс взаємопов'язаних складових елементів, їх властивостей і процесів. Початкова вибірка має вигляд [12, 123]:

$$A = \{a_i\}, Z_i = \{z_{ij}\}, Q = \{q_{ij}\}, D = \{A, Q\}, k \neq i, j \neq m, \\ Z(t_1) \rightarrow Z(t_2) \rightarrow Z(t_3) \rightarrow \dots, Z(t) = Fc [X(t)],$$

де $Z(t)$ – стан системи автоматизованого відображення фактичних глибин; Fc – перехідна функція стану системи; $X(t)$ – функція входів системи (алгоритм управління).

В основу пропонованої моделі покладено послідовне вирішення завдань, пов'язаних із впровадженням розподіленої інформаційно-телекомунікаційної системи. Вирішення завдань полягає в усуненні комплексних проблем системного об'єкта і процесів, що відрізняються від простої суми властивостей елементів з

однотипними багаторівневими зв'язками. Методом оцінки вирішення завдань для функціонування сучасної системи з безперервним виходом є критеріальний метод, де кожна окремо взята альтернатива оцінюється конкретним числом (критерієм, цільовою функцією). Порівняння альтернатив зводиться до порівняння відповідних чисел, тобто для всієї множини альтернатив $X = \{x_n\}$ вводиться цільова функція $Z = f(x) \Rightarrow \max$ або \min . Значення альтернатив $Z_{\min} < Z < Z_{\max}$ виражають через скалярні, векторні і множинні величини. Система автоматизованого відображення фактичних глибин є складне ціле, що являє собою комплекс взаємопов'язаних елементів. Тобто елемент – це невіддільна частина системи, що має самостійність. Елемент характеризується тільки його зовнішніми проявами у вигляді зв'язків і взаємозв'язків з іншими елементами.

Опис моделі. Пропонована модель структурно складається з двох частин: рис. 1.5 і рис. 1.6 [123].

На рис. 1.5 зображені структурні складові моделі G: елементи системи, процедура компонування елементів, зв'язок між елементами і їх взаємодія. Додатково показано зовнішнє середовище – це все, що не входить в систему. *Пояснення до складових пропонованої моделі.* A – множина елементів системи. Кожний елемент a_i характеризується конкретними властивостями Z_{i1} , Z_{im} . Сукупність усіх властивостей m елемента a_i визначено як стан елемента Z_i . Двосторонніх зв'язків не може бути більше, ніж $n(n-1)$. Утворюється деяка множина допустимих станів системи. Система має властивості рівноваги, стійкості і здатна переходити з одного стану в інший. Залежності станів системи від функцій входів та виходів [12, 123]:

$$X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_k, \dots, x_r) \Rightarrow Z(t) = Fc [X(t), Z(t-1), Z(t-2)].$$

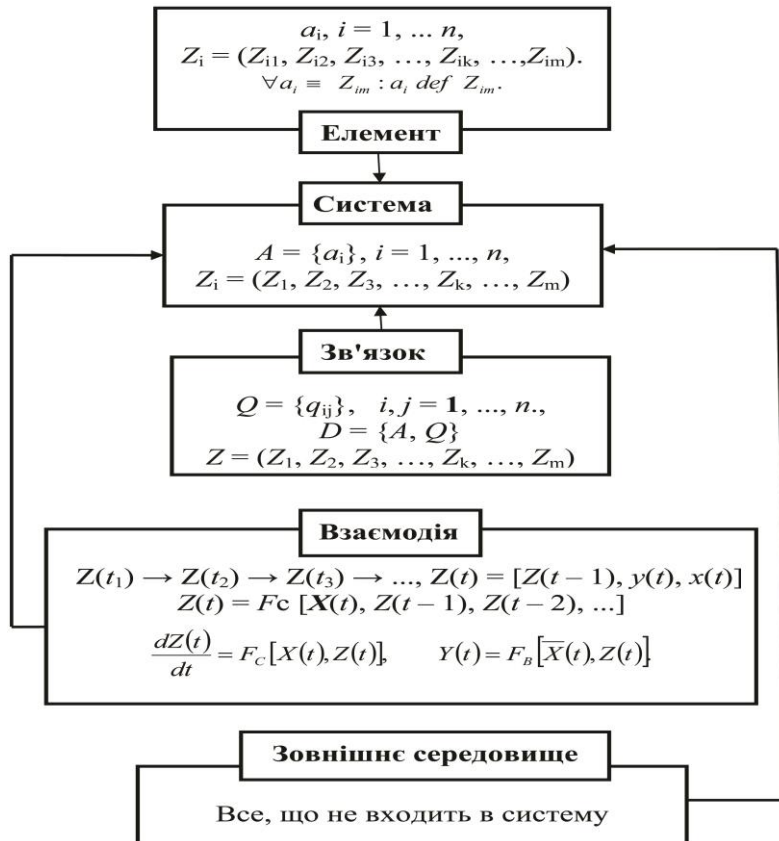


Рисунок 1.5 – Структурні складові моделі G

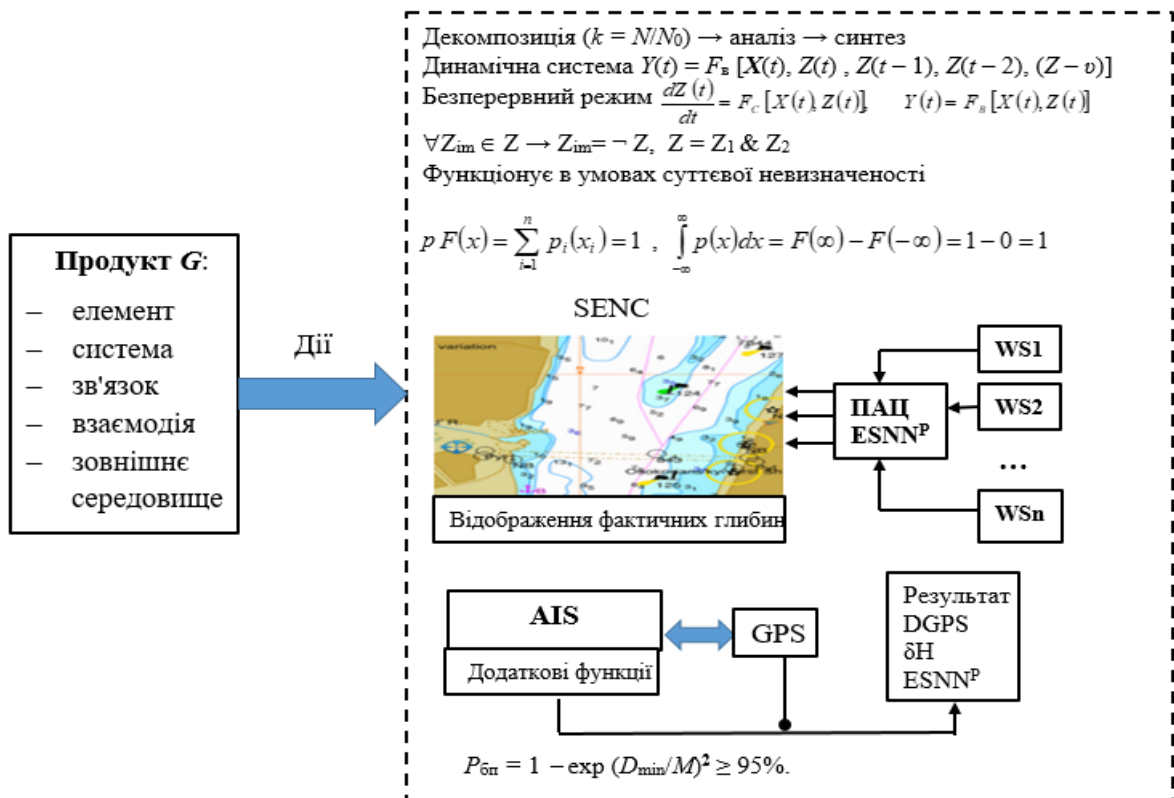


Рисунок 1.6 – Результати активації продукту G

Ознаки досліджуваної системи [12, 123]:

- система має властивості, яких не має ні одна із її складових елементів;
- систему можна розділити на підсистеми і вивчати кожна з них окремо;
- система функціонує в умовах суттєвої невизначеності та впливу середовища на неї, що обумовлює випадковий характер зміни її показників;
- система здійснює цілеспрямований вибір своєї поведінки.

На рис. 1.6 зображені дії над матеріальними об'єктами, що виконують за допомогою продукту з подальшою зміною його властивостей, які під впливом продукту G переходять в активний стан з додаванням додаткових функцій. До теперішнього часу діючий продукт не охоплював такі додаткові функції, які істотно впливають на ймовірність безпечного плавання.

До таких додаткових функцій технічних засобів, що охоплені пропонованим продуктом, відносяться розроблені моделі автоматизованого показу фактичних глибин на SENC, обробки сигналів, що надходять в Inland ECDIS від WS, із застосуванням перетворювача аналог-цифра (ПАЦ) і нейро-нечітких моделей, що засновані на прецедентах (ESNN^P).

На етапі структурної декомпозиції введений коефіцієнт k інформаційного взаємозв'язку підсистем

$$k = N/N_0, \quad (1.3)$$

де N – кількість взаємно використовуваних інформаційних масивів в підсистемах; N_0 – загальна кількість інформаційних масивів.

Важливим завданням даного системного аналізу є проблема прийняття рішення. Проблема прийняття рішення пов'язана з вибором певної альтернативи розвитку системи в умовах різного роду невизначеності.

Досліджувана система відрізняється багатомірністю, різноманітністю структури, різноманітністю природи елементів і зв'язків, організаційною різноопоровістю і різночутливістю до впливів, асиметричністю потенційних можливостей здійснення функціональних і дисфункціональних змін [12, 123].

1.3. Генерування множини альтернатив у системному аналізі проблеми з використанням методу сценаріїв і моделі «чорного ящика»

Як зазначено раніше, головна відмінна особливість ВВШ України полягає в нестабільності глибин, русел річок і характеристик водних потоків. Суттєві зміни суднового ходу на річці Дніпро можуть спостерігатися протягом однієї навігації. При цьому, вплив подібних переформовувань річкового русла на безпеку проходу суден можна віднести до багатокритеріальної моделі прийняття рішень в умовах невизначеності. Глибини, що нанесені на створені річкові електронні карти (ЕНК), швидко застарівають. При використанні ЕНК із застарілим масивом глибин судноводій буде введений в оману і виникнуть передумови для перевірки відомостей, отриманих від Inland ECDIS, що значно знижує ймовірність безпечного плавання на ВВШ України.

Вирішенням вказаної проблеми є системний науково обґрунтований підхід до автоматизації і періодичності оновлення діючих глибин на ЕНК з урахуванням особливостей ВВШ України і специфіки функціонування транспортної системи України.

Розробка і впровадження методів реалізації обчислювального інтелекту при використанні деталізованого масиву глибин в Inland ECDIS усуне відставання в розвитку сучасних транспортних технологій і прискорить процес інтеграції, що відбувається в Європейському союзі. Введення ІМН (річкової *e*-навігації) дозволить в особливий період оперативно закривати судноплавство по фарватеру і здійснювати проведення тільки обраних суден [57].

Розв'язання проблеми дослідження щодо використання деталізованого масиву глибин, автоматизації його поновлення в Inland ECDIS сприятиме вирішенню прикладних задач для підвищення безпеки руху ВТЗ з урахуванням специфіки функціонування транспортної системи й обороноздатності України.

Структура функціонування системи *P* використання деталізованого масиву глибин при проходженні суден по судновому ходу показана на рис. 1.7 [13].

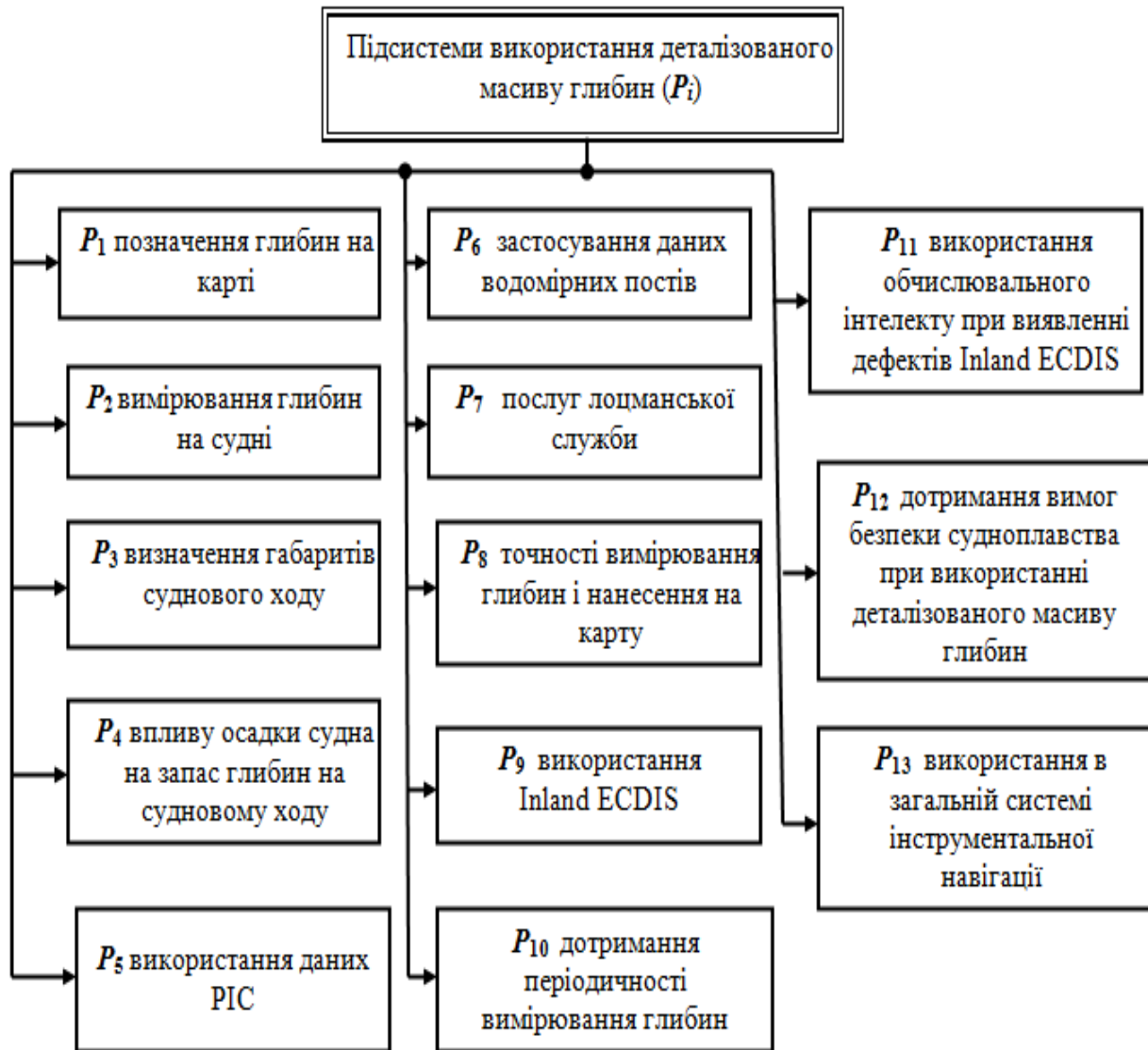


Рисунок 1.7 – Підсистеми використання деталізованого масиву глибин P_i

Таким чином,

$$P = \sum_{i=1}^{n=13} P_i. \quad (1.4)$$

З аналізу рис. 1.7 випливає, що між кожними двома ознаками підсистем

$$\forall (P_i ; P_j), \quad (1.5)$$

де $j = \exists ! \frac{i \cdot (i+1)}{2}$,

існує *функціональна залежність*, при якій кожному значенню одного з них відповідає одне або кілька суворо визначених значень другого. Відповідно до інтегральної ознаки Коші інтеграл [13,109]

$$\int_{i=1}^{i=13} \binom{i}{m} dm \quad (1.6)$$

існує і ряд сходиться,

де $\binom{i}{m}$ – число комбінацій m , вибраних з i елементів.

Слід зазначити, що між окремими ознаками

$$\forall (P_i ; P_j)^* \quad (1.7)$$

існує і *кореляційна залежність*, при якій зі зміною однієї ознаки змінюється й інша, але кожному значенню ознаки P_i відповідають різні, задалегідь непередбачувані значення ознаки P_j , і навпаки.

Такі окремі ознаки за виразом (1.7) представлені у вигляді верхньої трикутної $(1.4), (1.7) \Rightarrow M^*: n-5 \times n-5 \rightarrow m^*$ матриці M^* [13].

$$\begin{pmatrix} P_1, P_2 & P_1, P_3 & P_1, P_5 & P_1, P_6 & P_1, P_8 & P_1, P_9 & P_1, P_{10} & P_1, P_{11} \\ 0 & P_2, P_3 & P_2, P_5 & P_2, P_6 & P_2, P_8 & P_2, P_9 & P_2, P_{10} & P_2, P_{11} \\ 0 & 0 & P_3, P_5 & P_3, P_6 & P_3, P_8 & P_3, P_9 & P_3, P_{10} & P_3, P_{11} \\ 0 & 0 & 0 & P_5, P_6 & P_5, P_8 & P_5, P_9 & P_5, P_{10} & P_5, P_{11} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & P_6, P_8 & P_6, P_9 & P_6, P_{10} & P_6, P_{11} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_8, P_9 & P_8, P_{10} & P_8, P_{11} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_9, P_{10} & P_9, P_{11} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{10}, P_{11} \end{pmatrix} \quad (1.8)$$

Для аналізу підсистем P_i (рис. 1.7) застосовані методи сценаріїв, колективної генерації ідей і експертні методи [13].

Так, при проведенні тренажерної підготовки судноводіїв в Центрі підготовки фахівців морського та річкового транспорту «Укрводшлях» – «Training» за напрямом: «Використання електронних та навігаційно-інформаційних систем на ВВШ України», судноводіям було поставлено експлуатаційне завдання:

визначити і ввести поправку до глибин, позначених на ENC і традиційних річкових навігаційних картах на паперовій основі, на заданий район плавання, дату і час.

В результаті: жоден судноводій не зміг визначити і ввести поправку до глибин за незалежних від нього причин.

Після цього проведене анкетне опитування судноводіїв. При проведенні опитування:

- враховані думки залучених судноводіїв, що мають різну підготовку і досвід;
- включені в розгляд навіть ті альтернативи, які на перший погляд здаються надуманими;
- забезпечена свобода мислення учасників колективної генерації ідей і висловлювання нових ідей;
- не допускалася критика будь-якої ідеї;
- не оголошувалися помилкові ідеї і не припинялося їх обговорення.

Проведена оцінка ідей підтвердила актуальність запланованих напрямів досліджень. У зв'язку зі значною кількістю альтернатив проведена їх попередня і перспективна класифікація.

Нижче наведені сценарії аналізу ідей і ознак підсистем P_i :

1. Невизначеність єдиної висотної основи для визначення деталізованого масиву глибин на ENC і традиційних річкових навігаційних картах на паперовій основі. Така невизначеність вводить в оману судноводіїв через помилки у визначенні поправок до фактичних глибин, що, безумовно, знижує ймовірність безпечного плавання.

На підставі проведеної функціональної декомпозиції, що базується на системному аналізі однієї з основних функцій підсистеми P_1 з комбінаціями (1.5), (1.7), встановлено.

По-перше. В альбомі № 3528 «Навігаційна річкова карта Нижнього Дніпра від Каховської ГЕС до гирла» зафіксовано, що «Глибини в метрах у річці Дніпро, її рукавах та протоках приведено до проектного рівня, позначка якого становить мінус 1 м по водомірному посту Херсон, у Дніпровському лимані – до середнього

багаторічного рівня Чорного моря». Разом з тим, Річкова інформаційна служба (РІС) в інформації першого рівня (інформація про фарватер) дає коливання рівнів води в Балтійській абсолютній системі відліку висот (рис. 1.8).

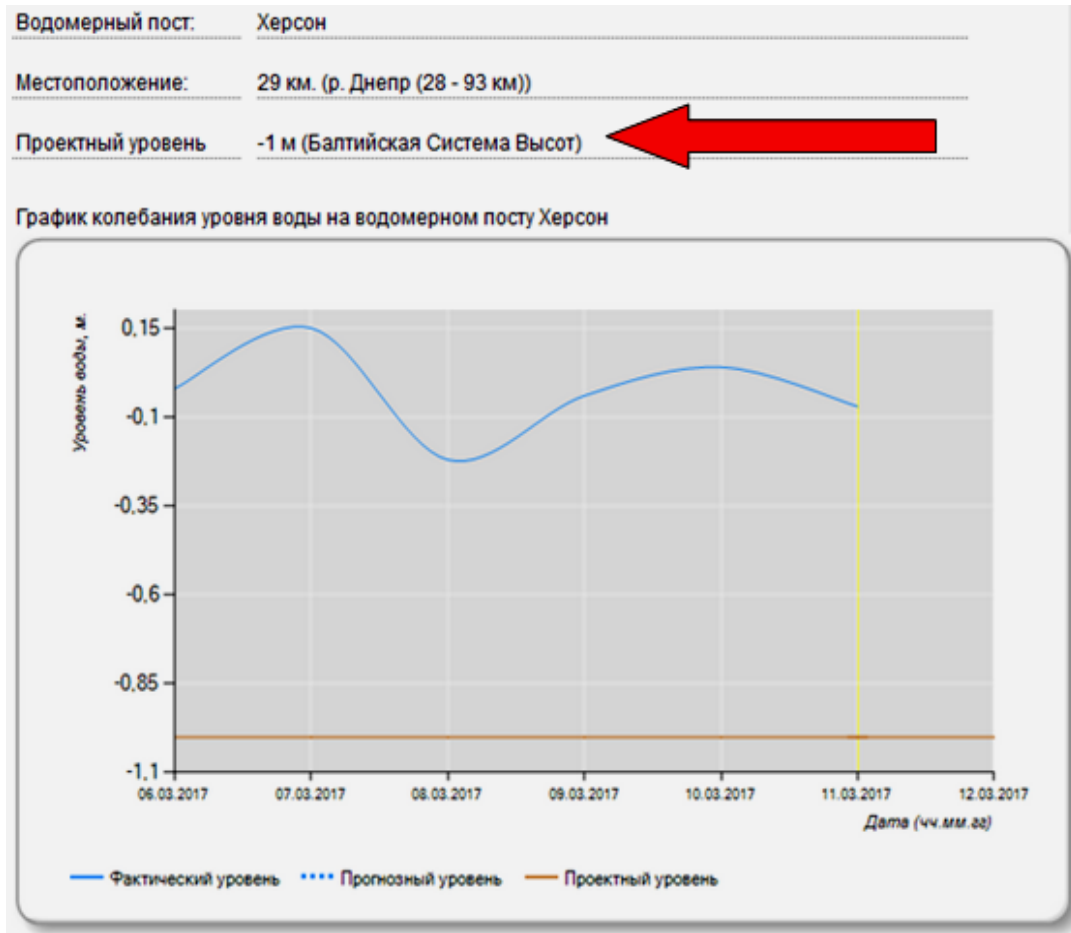


Рисунок 1.8 – Коливання рівнів води в Балтійській абсолютній системі відліку висот за даними РІС

Проте, середній багаторічний рівень Чорного моря нижче середнього багаторічного рівня Балтійського моря на 25 см. Постійні коливання призводять до того, що на Чорному морі рівень підвищується на 20 - 25 сантиметрів за 100 років. Величина припливно-відпливних коливань рівня на Чорному морі складає від 3 до 10 сантиметрів.

У кожній країні свій відліковий рівень. У Росії за рівень моря приймається нульова відмітка Кронштадтського футштока (Балтійська абсолютна система

висот, яку використовує також і Польща), в США, Канаді та Китаї – свій відліковий рівень.

Класичний приклад – рівень моря по обидва боки Америки (особливо у Панамському перешийку). Через різну солоність вод Тихого і Атлантичного океанів і різного переважаючого напрямку вітрів різниця середнього рівня урізу води становить 20 см.

В Україні реальні геофізичні координати відраховують по супутникових системах, які прив'язані до геоїда – уявної поверхні постійного гравітаційного потенціалу. Вона приблизно збігається з рівнем моря, але коли потрібна висока точність – доводиться враховувати поправки.

По-друге. У метаданих SENC інформація про абсолютну систему відліку також є неоднозначною.

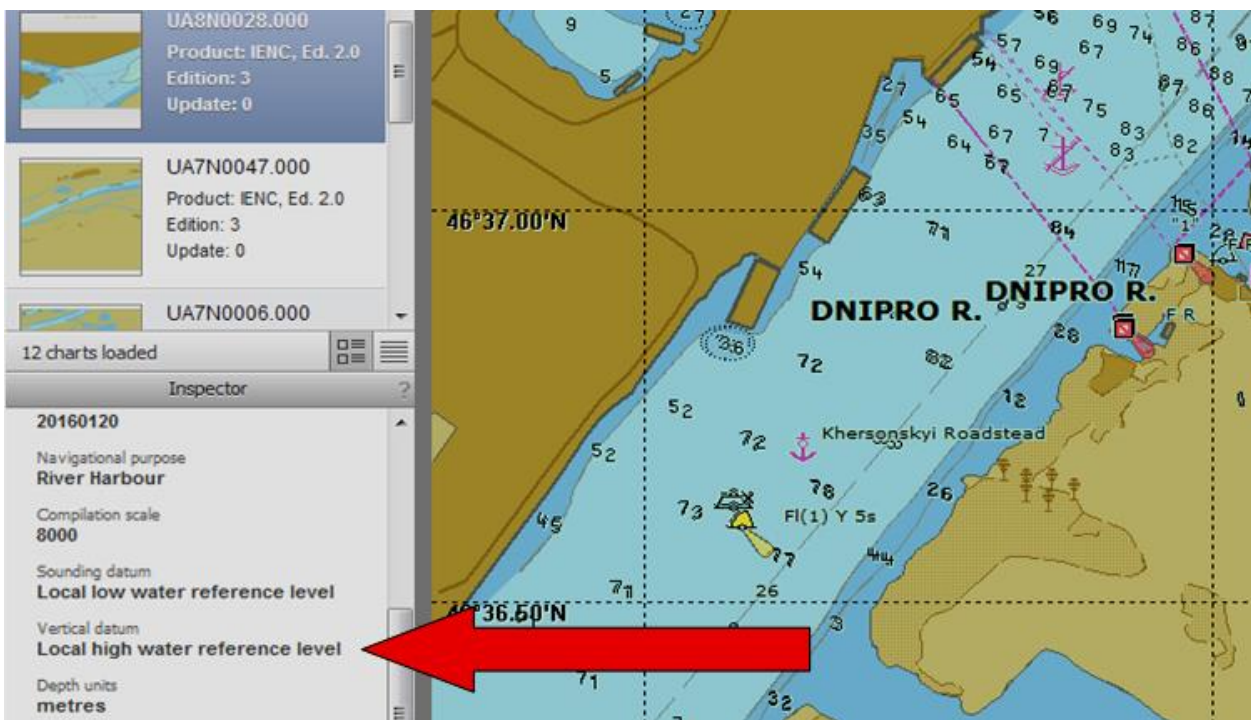


Рисунок 1.9 – Інформація про систему відліку висот в метаданих ENC

Як приклад, інформація була взята з метаданих ENC UA8N0028.000 (рис. 1.9). За вертикальний датум по карті прийнято вертикальний верхній опорний рівень води. (Vertical datum. Vertical high water reference level). Дана інформація є не однозначною, без прив'язки до абсолютної системи відліку.

Різні системи відліку приводять до значних помилок. Наприклад, у разі помилки у визначенні рівня води в 20 см, ремонтне черпання 1 км каналу шириною 100 метрів може виявитися дорожчим на 3 млн. гривень.

З огляду на критичність осадки суден по відношенню до глибини суднового ходу, абсолютна система відліку висот повинна бути **єдиною**, або в показання глибин, нанесених на карти, повинна вводитися обов'язкова поправка за різницею вертикальних систем відліку.

2. Невідповідність систем відліку рівнів води за даними річкових навігаційних карт на паперовій основі, ENC, PIC і WS. На підставі проведеної структурної декомпозиції підсистеми P_1 з комбінаціями (1.5), (1.7) та з введенням коефіцієнта інформаційного взаємозв'язку підсистем за виразом (1.3) встановлено.

По-перше. В альбомах № 3528 – 3530 навігаційних річкових карт р. Дніпро, ENC та за показаннями PIC зафіксовано невизначеність зони дії основних (опорних) ВП. Формалізовані дані щодо невизначеності на найбільш інтенсивній судноплавній ділянці від п. Херсон до п. Дніпро наведені в таблиці 1.3.

З аналізу кореляційної залежності ознак за виразом (1.7) підсистем $P_1; P_2; P_5; P_6; P_8$ [13]

$$\begin{pmatrix} P_1; P_2 & P_1; P_5 & P_1; P_6 & P_1; P_8 \\ 0 & P_2; P_5 & P_2; P_6 & P_2; P_8 \\ 0 & 0 & P_5; P_6 & P_5; P_8 \\ 0 & 0 & 0 & P_6; P_8 \end{pmatrix}$$

та табл. 1.3 впливає, що окремі опорні ВП не позначені на картах, зона їх дії відсутня або визначена з помилками. Внаслідок чого, по окремих водомірних постах (наприклад: Нікополь - Дніпровська ГЕС н/б) на судні не враховуються поправки на уклін річки Δz_{α} , що в окремих випадках призводить до помилок при вимірюванні глибин. Слід врахувати, що для автоматизованого показу фактичних глибин на SENC в Inland ECDIS, відстань між WS в подальшому буде розбиватися на k_3 умовних зон, причому різниця висот миттєвого рівня в 2-х крайніх точках умовної зони не повинна перевищувати половини точності вимірювання і

нанесення глибин на карту, то при наявній невизначеності таку розбивку здійснити не можливо [80].

$$(1.3) \Rightarrow N_0 = k_3 = \frac{2 \cdot (h_2 - h_1)}{m_{z0}} \Rightarrow h_2 - h_1 = \frac{k_3 \cdot m_{z0}}{2},$$

де $h_2 - h_1$ – різниця перевищень миттєвого рівня між WS; m_{z0} – загальна погрішність глибини, показаної на карті.

Невизначеність встановлення критерію $1/2 m_{z0}$, стосується WS, показаних в таблиці 1.3. За комбінацією ВП Нікополь – Дніпровська ГЕС н/б ($k = 0,2$) встановлення умовних зон з критеріями обумовлено насамперед тим, що $h_2 - h_1 \exists 100 \text{ см}$.

Поправки до вимірних глибин залежать від цілої низки факторів [13,14]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta z = \Delta z_f + \Delta z_{ИЗМ} + \Delta z_\alpha + \Delta z_M, \quad h_2 - h_1 = \frac{k_3 \cdot m_{z0}}{2}, \\ m_{z0} = \sqrt{m_{ИЗМ}^2 + m_{zM}^2}; \\ \Delta z_\alpha = z \cdot (\sec \alpha - 1); \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{dz}{ds} = g, \\ \Delta z_M = R \cdot \operatorname{tg} \alpha; \\ m_{zM} = \frac{1}{\sqrt{2}} M \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad M = \sqrt{M_1^2 + M_2^2}, \quad \forall M \stackrel{\text{def}}{=} \delta_K, \end{array} \right. \quad (1.9)$$

де Δz – поправка до вимірної глибини; Δz_f – поправка глибин за рівень води; $\Delta z_{ИЗМ}$ – поправка засобу вимірювання (ехолота); Δz_α – поправка на уклон дна річці; Δz_M – поправка до глибини з урахуванням похибки визначення місця; m_{z0} – загальна погрішність глибини, показаної на карті; $m_{ИЗМ}$ – загальна погрішність вимірювання глибини; m_{zM} – загальна погрішність вимірювання глибини, пов'язаними з точністю визначення місця судна; z – вимірjana глибина; α – кут уклону річки; s – відстань між рівневими постами; g – градієнт функції; R – величина відхилення при визначенні місця; M – середня квадратична помилка (СКП) визначення місця судна; M_1 – СКП визначення глибин; M_2 – СКП нанесення глибин на карту; δ_K – точність карти.

Таблиця 1.2 – Точність вимірювання глибин [80]

Глибина, м	Точність, м
0,1 – 5.0	+/- 0.05
5.1 – 20.0	+/- 0.10
більш 20.0	+/- 0.20
намітка до 5	+/- 0.05
лот	+/- 0.10

Таблиця 1.3 – Невизначеність зони дії основних (опорних) водомірних постів р. Дніпро (рух вгору від WS Херсон до WS Дніпродзержинська ГЕС н/б за даними РІС)

№ з/п	Водомірний пост РІС	Навігаційна річкова карта (позначення в/п)	ENC (позначення в/п)	Зона дії (км) РІС	k (1.3)	Критерії $k = f\left(\frac{m_{z0}}{2}\right)$
1	Херсон (29 км)	3528-3,4	UA8N0028	–	–	
2	Каховська ГЕС н/б (91 км)	3528-9	UA8N0082	0 – 58 (58) вказана з помилками.	0,7	1,0
3	Каховська ГЕС в/б (93 км)	3529-1	UA8N0082	–	1.0	1,0
4	Нікополь (212,8 км)	3529-8	UA8N0206	58 – 219 (161) вказана з помилками.	0,2	1,0
5	Дніпровська ГЕС н/б (302 км)	–	–	219 – 271 (52) Не визначена зона дії до ГЕС	–	–
6	Дніпровська ГЕС в/б (305 км)	3529-13	UA8N0295	271 – 363 (92) вказана з помилками.	1.0	1,0
7	Дніпропетровськ (391,6 км)	3530-10	UA8N0389	–	0,7	1,0
8	Дніпродзержинська ГЕС н/б (433 км)	–	–	363 – 399 (36) Не визначена зона дії до ГЕС	–	–

У той же час точність ENC δ_K складає [26]:

$$\begin{aligned} \delta_{Ц} &= 0,15\text{мм}, \quad \Delta H = \Delta V = 0,3\text{мм}, \\ \sigma(\Delta_B X) &= \sigma(\Delta_B Y) = 0,1732 \text{ мм} \Rightarrow \sigma(\Delta_B) \leq 0,25\text{мм}. \\ \delta_K &\leq 0,5\text{мм}, \end{aligned} \quad (1.10)$$

де $\delta_{Ц}$ – похибки цифрування ENC; $H, \Delta V$ – лінійні розміри пікселя; $\sigma(\Delta_B Y) = \sigma(\Delta_B X)$ – СКП по X, Y ; X, Y – екранні координати.

По-друге. Висотна основа при відображенні деталізованого масиву глибин і берегової смуги на ENC не співпадає з показаннями РІС (таблиця 1.4).

В окремих випадках різниця між висотними основами Δ_o коливається від 20 до 542 см, що викликає невизначеність у судноводія і значно впливає на радіолокаційне зображення (РЛЗ) по радару.

Таблиця 1.4 – Невизначеність висотних основ на ENC і за даними РІС

№ з/п	Водомірний пост РІС або берегова смуга (висотна основа, м)	Навігаційна річкова карта (висотна основа, м)	ENC (висотна основа)	Δ_o (см)
1	Берегова смуга (НПР 16,0)	3529 (РНС 14,0)	Верхній опорний рівень	200
2	Берегова смуга (НПР 64,0)	3531 (РНС 63,8)	Верхній опорний рівень	20
3	Берегова смуга (НПР 81,0)	3532 (РНС 79,0)	Верхній опорний рівень	200
4	Берегова смуга (НПР 103,0) В.п. Лоев (108,42) В.п. Неданчичі (102,6) В.п. БНС (103,0)	3534-7,8,9,10,11,12,15,16 (РНС 102,0) 3534-1,2,3,4 (108,42) 3534-5,6 (102,6) 3534-13.14 (103,0)	Верхній опорний рівень (Vertical high water reference level)	100 542 40 0

3. Неоднозначність використання даних РІС на судні. На підставі структурної декомпозиції підсистеми P_5 та її оцінки за результативністю та оперативністю виявлені наступні невизначеності.

При активізації вікон по ВП в РІС зафіксовано:

- відсутня інформація значення нуля глибин в абсолютній системі відліку (рис. 1.10). Представлена інформація про абсолютну систему відліку проектного рівня води не завжди співпадає з системою відліку рівнів води (таблиця 1.3);

- обчислення абсолютної системи відліку за даними таблиці рівнів води спричинює невизначеності для судноводія;
- інформація про рівні води дається не цілодобово. Так, оновлення інформації на сайті здійснюється в визначені періоди. Тобто після 16-00 при плаванні в темний час доби інформація не надається. За іншою інформацією РІС дані, наведені в таблиці рівнів води, відповідають рівням води тільки на 8:00 поточної доби. Наприклад, в РІС Австрії інформація про рівні води дається цілодобово і по годинно;
- не сформовані критерії судноплавства. Так, не дається інформація про верхній і нижній судноплавні рівні (рис. 1.11);
- не надається інформація про використання Inland ECDIS і Inland ENC на ділянках судноплавства.



Рисунок 1.10— Інформація про абсолютну систему відліку проектного рівня води

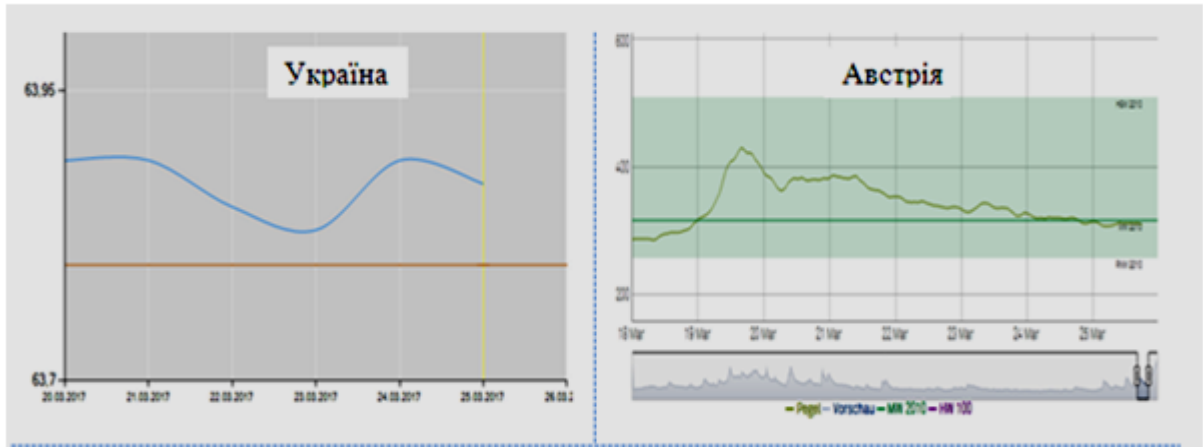


Рисунок 1.11 – Інформація про верхній і нижній судноплавні рівні

4. Вибір оптимальних альтернативних режимів функціонування підсистеми P_9 у структурі функціонування системи P .

Для генерування альтернатив скористаємося абстрактним рівнем опису окремих функцій підсистеми P_9 (рис. 1.7) використовуючи модель «чорного ящика». Підсистема P_9 , яку символізує «чорний ящик», відособлена, тобто виділена з середовища, але не є повністю ізольованою, а пов'язана з зовнішнім середовищем через сукупність входів і виходів. Виходи моделі «чорного ящика» описують результати діяльності підсистеми, а входи – ресурси і обмеження. Дана модель «чорного ящика» не розглядає внутрішній устрій підсистеми P_9 , тому для деталізації опису підсистеми з урахуванням її внутрішнього складу потрібно ускладнення моделі [13, 123].

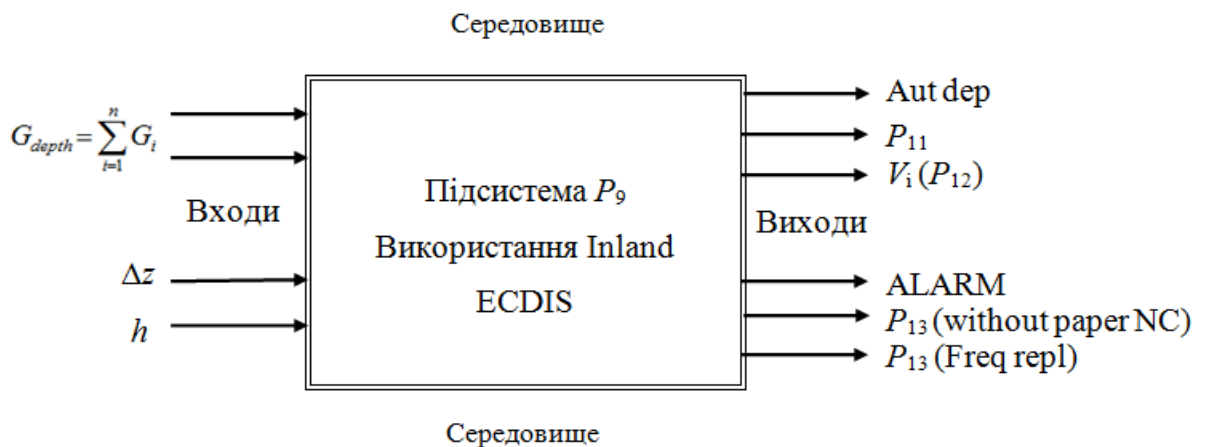


Рисунок 1.12 – Модель «чорного ящика» підсистеми P_9

Розглянемо входи и виходи моделі «чорного ящика» підсистеми P_9 .

Входи – ресурси і обмеження [13,123].

1). В першу чергу це ресурси і обмеження для забезпечення експлуатаційних і технічних вимог до Inland ECDIS (R – пункти вимог), які визначені стандартами та резолюціями ЄЕК ООН (G_{St}), Дунайської комісії (D_K), Центральної комісії судноплавства по Рейну (R_N).

$$G_{St} = D_K \cup R_N.$$

В G_{St} виокремимо вимоги стандартів, що стосуються ресурсів і обмежень використання деталізованого масиву глибин G_{depth} .

$$\forall G_{depth} \in R \exists ! G_{St} \in R: G_{depth} < G_{St} \Rightarrow \forall G_i \in R \exists ! G_{depth} \in R: G_i < G_{depth}.$$

Розглянемо n складових частин

$$G_{depth} = \sum_{i=1}^n G_i, \quad (1.11)$$

G_1 – введення інформаційного (Inf) або навігаційного режиму (Nav).

Обмеження:

- обов'язкове використання річкових карт на паперовій основі;
- розташування SENC у відносному русі з орієнтацією по курсу;
- використання Inf тільки в інформаційних цілях;
- ручне прокручування карти в Inf , поза Nav ;
- РЛЗ має чітко відрізнятися від інформації SENC;
- точність визначення місця $\delta \leq 10$ м, $\sigma \leq 2^0$;
- різниця між курсом і поздовжньої віссю судна $\leq 1^0$;
- індикація про надходження інформації від GPS;
- датум GPS та додаткової інформації = датум SENC;
- функції прямого доступу обмежені;
- постійно видимі параметри: рівень води, безпечна глибина;
- в Nav допускається лише послідовне перемикання шкал дальності.

G₂ – оновлення ENC.

Обмеження:

- відповідність коректури стандартам і останньому виданню;
- виключення зміни оригіналу ENC;
- оновлення повинні використовуватися в SENC автоматично;
- можливість анулювання автоматичних оновлень;
- можливість ознайомлення зі змістом оновлень;
- оновлення не повинні погіршувати інформаційний зміст;
- не повинні створюватися перешкоди на відображенні ENC;
- час введення оновлень повинен реєструватися

G₃ – введення інформації від навігаційних датчиків.

Обмеження:

- в *Nav* при невідповідності РЛЗ місцю судна в межах, встановлених в G_{St} SENC автоматично відключається;
- датчики інформації повинні відповідати вимогам стандартів.
- датчики інформації, включаючи АІС або АІ-ІР, підключаються відповідно до конфігурації;
- похибка між курсом по ГК і SENC $\leq 0,5^0$.

G₄ – регулювання відображення.

Обмеження:

- експлуатація можлива тільки за умови чіткої видимості відображуваної інформації для більш ніж одного спостерігача в умовах освітлення судової рубки;
- розміри відображуваної карти повинні бути не менше 270 мм x 270 мм;
- експлуатація можлива тільки за умови вибору однієї з трьох категорій відображення інформації SENC;
- встановлення категорій відображення не повинно впливати на відображення інформації про глибину на SENC;
- повинна забезпечуватися можливість встановлення безпечних відстаней;

– експлуатація можлива тільки за умови відповідності відображення SENC стандарту ІНО S-52.

G₅ – введення відображення РЛЗ.

Обмеження:

- радар повинен відповідати вимогам, що пред'являються до радіолокатора на ВВШ та G_{St} , що викладені у стандарті [119];
- в *Nav* РЛЗ відображується автоматично в першочерговому порядку в режимі відносного руху з орієнтацією по курсу;
- відображення SENC має співпадати з РЛЗ за місцем розташування, шкалами дальності і орієнтацією;
- тимчасове вилучення даних SENC або РЛЗ має проводитися однією дією оператора;
- допустима різниця між місцем розташування судна і РЛЗ ≤ 1 м;
- оновлення картографічного зображення не пізніше РЛЗ;
- допустима різниця між курсом по ГК і на РЛЗ $\leq 1,0^0$;
- похибка пеленга між РЛЗ і картографічним зображеннями $\leq 0,5^0$.

G₆ – перевірка відображення карти. Обмеження:

- статичне зміщення положення карти $\leq 0,5^0$ (шкали дальності ≤ 2000 м);
- точність місця ≤ 5 м.

2). Введення поправок до глибин в SENC (Δz) для дійсного рівня води.

Обмеження:

- введення Δz здійснюється тільки в вручну;
- введення Δz здійснюється по кожній ділянці;
- автоматичне введення Δz не здійснюється;
- Δz має вводитися з урахуванням (1.9);
- ехолот автоматично не вносить зміни до банку даних глибин.

3) Використання рівня води за інформацією РІС (h). Обмеження:

- невизначеність значення нуля глибин в абсолютній системі відліку за даними карти і РІС;

- інформація про рівні води дається не цілодобово, тобто після 16-00 при плаванні в темний час доби інформація не надається;
- дані РІС, наведені в таблиці рівнів води, відповідають рівням води тільки на 8:00 поточної доби. Інформація про рівні води погодинно не надається;
- не надається інформація про верхній і нижній судноплавні рівні по кожному водомірному посту;
- окремі опорні водомірні пости можуть бути не позначені на картах, мати невизначену зону дії або визначену з помилками;
- виходячи з (1.19) можуть не враховуватися поправки на уклон річці Δz_a .

Виходи - результати діяльності системи [6,13]:

- а) автоматизоване введення фактичних глибин в SENC (Aut dep);
- б) впровадження підсистеми тестування P_{11} [10];
- в) впровадження критеріїв судноплавства V_i підсистеми P_{12} [11]:
 - критичні фактори, що визначають обмеження для руху водного транспорту щодо габаритів суднового ходу;
 - критичні фактори, що визначають обмеження для судноплавства щодо глибин суднового ходу, мінімальних радіусів заокруглення суднового ходу на ВВШ в районі перекатів;
 - критичні фактори, що визначають обмеження для судноплавства щодо габаритів шлюзів, габаритів підходів до судноплавних шлюзів, габаритів мостів, висоти проводів повітряних ліній електропередачі;
 - виконання оцінки точності визначення місця судна замість ручної обробки зазначеної інформації;
 - нормативи точності координат: допустима величина похибки визначення місця – не більше 10 м (з ймовірністю 0,95), інтервал дискретності поновлення координат – не більше 2 с;
 - ймовірність безпечного плавання $P_{\bar{on}} < 0.95$ [12, 123]

$$P_{\bar{on}} = 1 - \exp (D_{min} / M)^2; \quad (1.12)$$

де D_{min} – найкоротша відстань до найближчої небезпеки; M – СКП зчислюваного місця ВТЗ у точці найкоротшої відстані до найближчої небезпеки;

г) спрацьовування аварійно-попереджувальної сигналізації (ALARM):

– при досягненні верхнього (BCP) і нижнього судноплавного рівня (HCP) по кожному ВП;

– при відсутності сигналів від ВП;

– при зменшенні запасу води під кілем судна;

– при відсутності автоматичного введення Δz ;

– при розбіжності показання глибин, виміряних ехолотом з картою;

д) використання Inland ECDIS в підсистемі P_{13} :

– використання *Nav* без паперових навігаційних річкових карт (Without paper NC) [14];

– встановлення періодичності заміни ENC у зв'язку з нестабільністю деталізованого банку даних глибин – не рідше 2 разів на рік (Freq repl);

– використання *Nav* елементів берегової інфраструктури для забезпечення ймовірності безпечного плавання P_{bn} (1.12) з ознаками функціональної стійкості системи (1.18).

Розроблений сценарій вибору оптимальних альтернативних режимів функціонування підсистеми P_9 у структурі функціонування системи P (4.) покладений в основу розробленого узагальненого лінійного алгоритму виявлення дефектів функціонування ІК Inland ECDIS (підрозділ 1.4 – рис. 1.14).

Незважаючи на недосконалість процесу верифікації, що не дозволяє однозначно і повністю усунути дефекти, помилки і встановити коректність функціонування аналізованої програми, елементи сценарію $G_1 - G_6$ є обов'язковими для тестування ІК Inland ECDIS. Також слід врахувати, що виявлення дефектів функціонування автоматизованого введення фактичних глибин в SENC і невизначеності значення нуля глибин в абсолютній системі відліку є обов'язковими поряд з ручним режимом функціонування.

1.4. Використання обчислювального інтелекту при виявленні дефектів базової версії програмного продукту Inland ECDIS

Слід зазначити, що на відміну від традиційних систем, заснованих на бінарних множинах («так» - «ні», «істинно» - «помилково»), виявлення дефектів функціонування базової версії програмного продукту Inland ECDIS в підсистемі P_9 (рис. 1.7) засноване на «нечіткій» логіці, яка оперує множиною значень (часто, рідко, близько, далеко), а в окремих випадках є системою наближених обчислень. Тестування інтелектуальної підсистеми P_9 являє собою застосування обчислювального інтелекту (СІ), де можна використовувати гібридний підхід, при якому в різних частинах підсистеми функціонують різні обчислювальні моделі, які активно взаємодіють. СІ (P_9) – застосування СІ тестування P_9 виявляється більш кращим варіантом пристосування до середовища P (рис. 1.7, 1.12).

У зв'язку з вищевикладеним запропонований метод впровадження технології тестування, контролю та верифікації технологічних модулів у вигляді алгоритму автоматизації тестування інтерфейсу користувача (ІК) Inland ECDIS, що сприятиме надійності вирішення задач щодо виявлення дефектів функціонування базової версії програмного продукту в підсистемі P_9 (рис. 1.7) для підвищення безпеки руху водних транспортних засобів з урахуванням специфіки функціонування транспортної системи України [10, 49].

Недосконалість процесу верифікації не дозволяє однозначно і повністю усунути дефекти, помилки і встановити коректність функціонування аналізованої програми. Особливої актуальності застосування технології тестування набуває при функціонуванні інструментального методу навігації.

Розв'язання проблеми полягає в тому, що технологія тестування, контролю та верифікації технологічних модулів функціонування Inland ECDIS, включаючи тестування підсистеми P_9 , дуже трудомістка. При ручному тестуванні (*manualtesting*) оператори вручну виконують тести, не використовуючи ніяких засобів автоматизації. Ручне (мануальне) тестування – самий недосконалий і простий тип тестування, який не потребує великої кількості додаткових знань.

Крім того, мануальне тестування може недостатньо ефективно знаходити деякі класи помилок у функціонуванні Inland ECDIS [10, 49].

Автоматизоване тестування передбачає використання спеціального програмного забезпечення (ПЗ) для контролю виконання тестів і порівняння очікуваного фактичного результату роботи програми. Цей тип тестування допомагає автоматизувати часто повторювані, але необхідні для максимізації тестового покриття завдання [10].

Тестування (атестаційне), включаючи підсистему P_9 (рис. 1.7), не здатне гарантувати 100% відповідність стандарту, проте покриття набору тестів асимптотично спрямовано до цього значення. Запропонована найбільш поширена форма автоматизації – тестування додатків через графічний ІК. Такий вид тестування відзначається двома факторами: по-перше, додаток тестується тим же способом, яким його буде використовувати оператор, по-друге, можна тестувати додаток, не маючи при цьому доступу до вихідного коду (рис. 1.13) [10, 49].

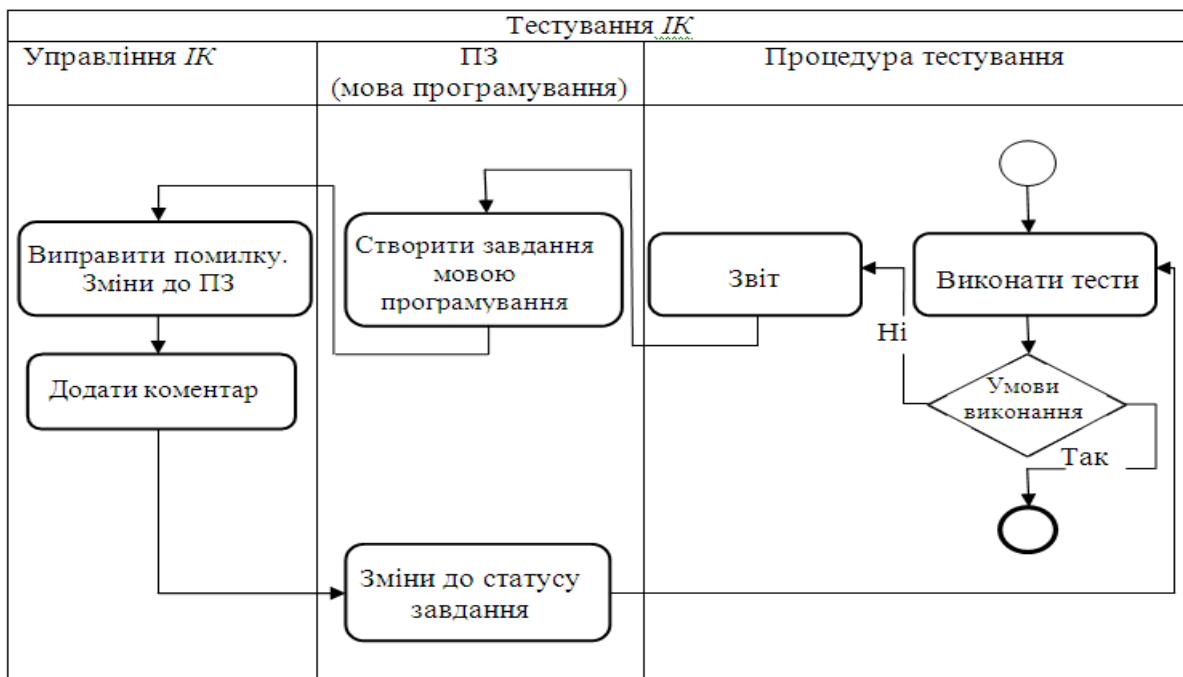


Рисунок 1.13 – Діаграма процесу тестування ІК Inland ECDIS

Крім того слід зазначити, що [10, 49, 144]:

– утиліти запису і програвання (*capture / playback tools*) записують дії оператора Inland ECDIS під час ручного тестування. Вони дозволяють виконувати

тести без прямої участі оператора протягом тривалого часу, значно збільшуючи продуктивність і усуваючи повторення одноманітних дій під час ручного тестування. У той же час, будь-яка зміна ПЗ вимагає перезапису ручних тестів. Тому це є не ефективним і не масштабується;

- написання сценарію (*scripting*) – форма програмування на мовах, спеціально розроблених для автоматизації тестування ПЗ – вирішує проблеми запису і програвання. Але скрипти не можуть бути впровадженими, пакетними або об'єднані в систему. Зміни в тестованому ПЗ вимагають складних змін у відповідних скриптах. Тестування скриптів стає врешті-решт непереборною проблемою;

- особливістю даних тестування (*data-driven testing*) є те, що тестові скрипти виконуються і верифікуються на основі даних, які зберігаються в SENC. Це об'єднання декількох взаємодіючих тестових скриптів і їх джерел. В цьому випадку змінні використовуються як для вхідних значень, так і для вихідних перевірочних значень. Таким чином, логіка, яка буде виконана в скрипті, залежить від цих даних;

- автоматизація тестування за ключовими словами (*keyword-based*) має на увазі поділ процесу на 2 етапи: етап планування і етап реалізації. У цьому випадку кінцевий тест являє собою не програмний код, а опис послідовності дій з їх параметрами.

Однією з головних проблем автоматизованого тестування ІК Inland ECDIS є трудомісткість. Незважаючи на те, що автоматизоване тестування дозволяє усунути частину рутинних операцій і прискорити виконання тестів, великі ресурси можуть витрачатися на оновлення самих тестів. Це відноситься до обох видів автоматизації. При зміні ІК необхідно заново переписати всі тести, які пов'язані з оновленими вікнами, що при великій кількості тестів може задіяти значні ресурси [10, 49, 143].

Запропонований метод конструктивної комплексної автоматизації функціонування ергатичних систем управління рухом ВТЗ базується на

інструментах Inland ECDIS та додаткових інтелектуальних модулях оперативного визначення форм взаємодії у складній динамічній системі, що в інтегрованій ситуації надзвичайних та загрозових умов впливу факторів за критеріями охорони зовнішнього навколишнього середовища та енергоефективності, включаючи витрати палива та інших ресурсів, гарантують отримання бажаного кінцевого результату – запобігання аваріям та катастрофам у кожній локальній зоні підвищеного ризику подій [10, 49].

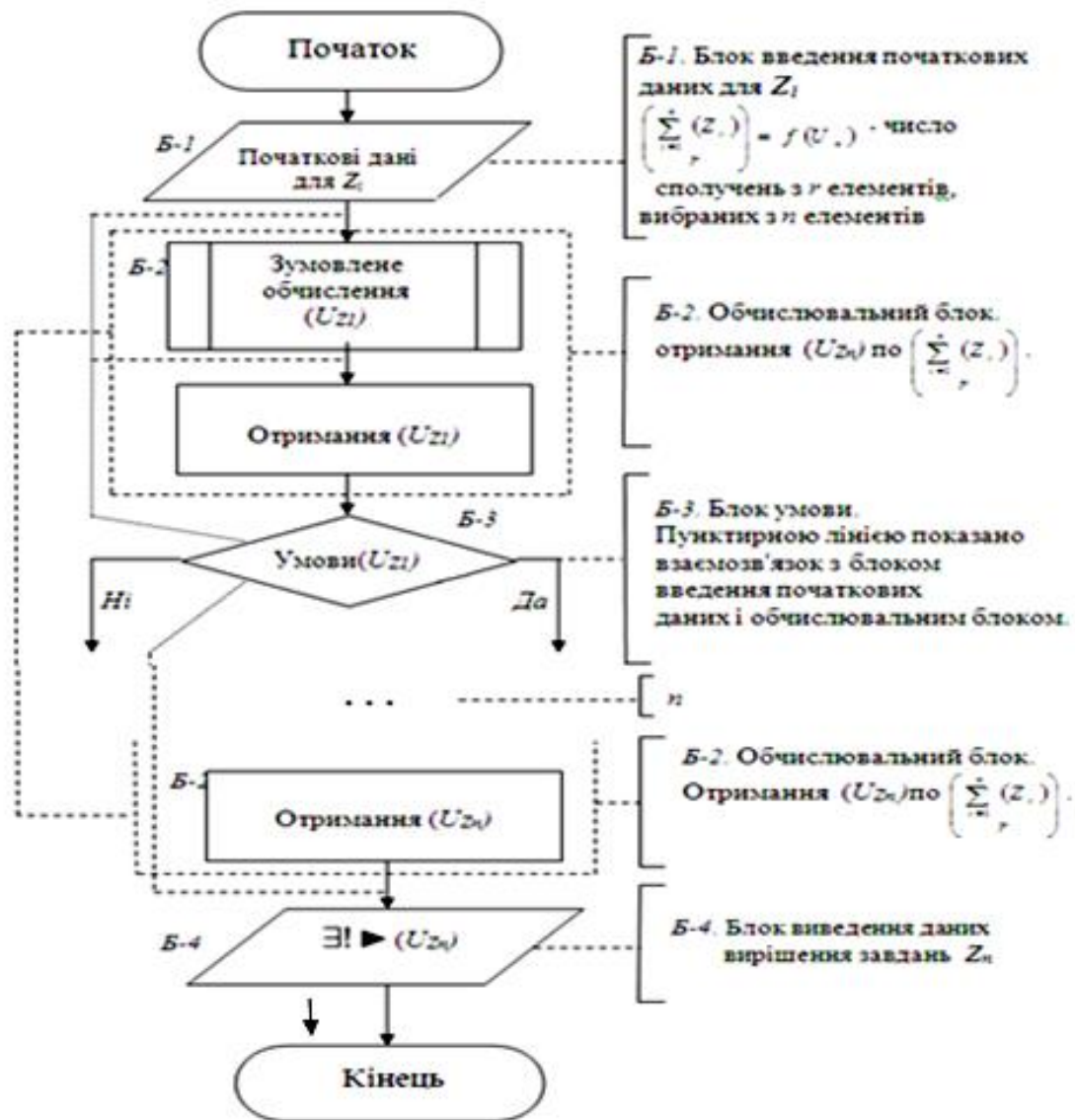


Рисунок 1.14 – Узагальнений лінійний алгоритм виявлення дефектів функціонування ІК Inland ECDIS

На рис. 1.14 представлений узагальнений лінійний алгоритм виявлення дефектів функціонування ІК Inland ECDIS. В основу алгоритму покладено тестування тієї частини навігаційних завдань Z_i , викладених у наведеному сценарії у підрозділу 1.3 – «4. Вибір оптимальних альтернативних режимів функціонування підсистеми P_9 у структурі системи P » і роботі [49], що дозволяють виявити помилки, які можуть лягти в основу усунення дефектів програмного продукту сучасних Inland ECDIS.

Основні елементи схем узагальненого лінійного алгоритму технології тестування, контролю та верифікації технологічних модулів функціонування ECDIS під час рейсу показані на рис. 1.15.

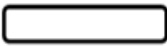
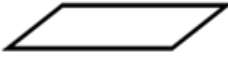


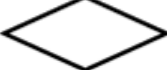

Найменування	Позначення	Найменування	Позначення
Блок початок-кінець (пуск-зупинка)		Дані (введення- виведення)	
Блок обчислень (обчислювальний блок)		Зумовлений процес	
Логічний блок (блок умови)		Коментар	

Рисунок 1.15 – Елементи схеми узагальненого лінійного алгоритму

Дані елементи дозволяють описати послідовність дій для вирішення навігаційних завдань щодо визначення технології тестування та верифікації технологічних модулів.

Процес перетворення вихідних даних в результати передбачає:

- введення початкових даних (Б-1),
- перетворення початкових даних в результати (Б-2),
- умови для отримання результатів (Б-3),
- виведення результатів (вихідні дані) (Б-4).

Розроблений узагальнений алгоритм являє собою розбиття процесу вирішення навігаційних завдань на послідовні етапи Z_i , що виконуються, при цьому результати виконання попередніх етапів можуть використовуватися при виконанні наступних [10, 49].

Окремі етапи Z_i зображені за допомогою різних геометричних фігур – блоків, а зв'язки між етапами (послідовність виконання етапів) вказуються за допомогою стрілок, що з'єднують ці фігури. Блоки супроводжуються пояснювальними написами.

В структурі формалізованих навігаційних завдань [10, 49], щодо методу тестування Inland ECDIS, вказані як зміст кожного етапу, так і порядок виконання етапів. Окремий етап алгоритму являє собою задачу, алгоритм вирішення якої відомий, або досить простий і зрозумілий без пояснень. Таким чином, такий процес верифікації може усунути дефекти, помилки і встановити коректність функціонування ІК Inland ECDIS.

До завдань, необхідних для максимізації тестового покриття при автоматизованому тестуванні підсистеми P_9 , можна віднести (рис. 1.12, 1.14) [10]:

Б-1.

Автоматизоване введення Δz з урахуванням (1.9);

автоматизоване введення рівня води h від водомірних постів;

автоматизоване введення $G_{depth} = \sum_{i=1}^n G_i$: з обмеженнями по (1.11).

Б-2.

Зумовлене обчислення $\Delta z, h_2-h_1$, з урахуванням (1.9);

зумовлене обчислення $G_{depth} = \sum_{i=1}^n G_i$: з обмеженнями по (1.11);

Б-3.

вибір одного з можливих шляхів (гілок) обчислювального процесу

$$\forall Z_i \exists ! \Rightarrow \begin{cases} \text{так, при виконанні умови,} \\ \text{ні, при не виконанні умови.} \end{cases} \quad (1.13)$$

Б-4.

Виведення даних Z_i (рис. 1.12):

$$\text{Aut dep, } P_{11}, V_i (P_{12}), \text{ALARM, } P_{13} (\text{without paper NC}), P_{13} (\text{Freq repl}). \quad (1.14)$$

До часто повторюваних завдань Z_i при автоматизованому тестуванні підсистеми P_9 (рис. 1.7) можна віднести окремі складові елементи за виразом

(1.9), перш за все це розрахунок M – СКП визначення місця судна, M_1 – СКП визначення глибин, M_2 – СКП нанесення глибин на карту, δ_K – точності карти.

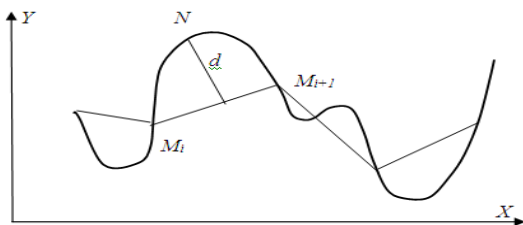
Причому, точність представлення картографічної інформації в SENC залежить від похибок цифрування паперової карти, похибок методів обчислення функцій широти у проекції Меркатора, похибок представлення дійсних чисел і похибок, що виникають у процесі обчислення при візуалізації ENC, лінійних розмірів пікселів і похибок округлення дійсних чисел при формуванні екранних координат.

Обґрунтуємо точності δ_K зазначені виразом (1.10) [10, 26].

1. Похибки цифрування.

Метричний опис картографічної інформації зводиться в решті решт до цифрування ліній. При цифруванні ліній інформацію задають безліч координат точок $(N_j(X_j, Y_j))$ на лінії, де $j = 1, 2, \dots, n$. Шаг цифрування повинен бути дрібним.

Використаний метод поліноміальної інтерполяції першого порядку. Тобто зглажування лінії ламаними прямими (стискування), які з'єднують опорні точки $M_i (i = 1, 2, \dots, m)$, вибрані з (N_j) .



$$\text{MAX}_{N \in M, N, M_{i+1}} d(N, M, M_{i+1}) \leq A \quad A = 0,2 \text{ мм.}$$

Для вирішення задачі застосуємо віяловий (рос. – «веерный») алгоритм.

У результаті вибрана множина $M_i(X_i, Y_i) (i = 1, 2, \dots, m)$ з множини (N_j) .

Рисунок 1.16 – Зглажування лінії ламаними прямими

Точні координати: $X_i^* - X_i = E_{X_i}$, $Y_i^* - Y_i = E_{Y_i}$,

$$\Delta_i = \max(|E_{X_i}|, |E_{Y_i}|) \approx 0,1 - 0,2 \text{ мм}$$

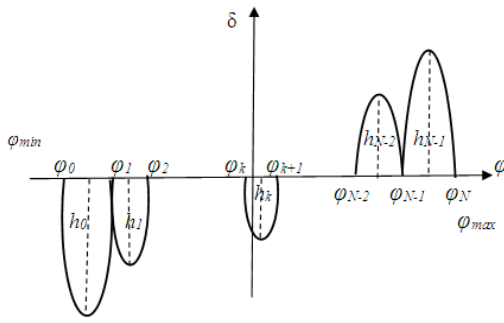
E_X, E_Y – випадкові величини (закон нормального розподілу).

Математичні сподівання E_X, E_Y : $M(E_{X_i}) = M(E_{Y_i}) = 0$,

$$\text{СКП } \sigma(E_{X_i}) = \sigma(E_{Y_i}) = 0.$$

Отже, точність інформації у SENC визначена похибкою нанесення на неї опорних точок.

2. Похибка методів обчислення функцій широти у проекції Меркатора.



$$\delta = \frac{1}{2} \mu_0 r_0 (\varphi - \varphi_i) \cdot (\varphi_{i+1} - \varphi) f''(\varphi_i);$$

$$\varphi \in [\varphi_i; \varphi_{i+1}]; \quad i = 0, 2, \dots, N-1; \quad |\delta| < \varepsilon.$$

Екстремум δ при

$$\varphi = \frac{1}{2} (\varphi_i + \varphi_{i+1}); \quad n_i = \underset{\varphi \in [\varphi_i; \varphi_{i+1}]}{\text{MAX}};$$

$$\delta = \frac{j}{8} \mu_0 r_0 \Delta^2 \varphi \cdot f''(\varphi_i).$$

Рисунок 1.17 – Зміна значень похибки δ . Значення δ залежить від φ і параметрів карти. Якщо $\varepsilon \ll \delta_{\text{ц}} \rightarrow \delta$ не враховується.

3. Похибки, що виникають при формуванні екранних координат.

Екранні координати X, Y

$$\begin{cases} \Delta X = r_0 \mu_0 (\lambda - \lambda_1), \\ \Delta Y = r_0 \mu_0 (U(\varphi) - U(\varphi_1)); \end{cases} \quad \begin{cases} X = \text{round}\left(\Delta X \cdot \frac{M}{H}\right) \\ Y = (n-1) - \text{round}\left(\Delta Y \cdot \frac{N}{V}\right) \end{cases}$$

Розміри екрана по горизонталі – H , по вертикалі – V .

Кількість пікселів – $H(M)$, $V(N)$. Величина похибки відображення залежить від перетворення аргументів функції *round* з дійсного числа в ціле.

Лінійні розміри пікселя

$$\left. \begin{array}{l} \Delta H = H / M \\ \Delta V = V / N \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta H = \Delta V \approx 0,3 \text{ мм}, \quad |\Delta_e X| \leq 0,5 \Delta H, \quad |\Delta_e Y| \leq 0,5 \Delta V.$$

Математичні сподівання M і СКП δ

$$\begin{cases} M(\Delta_e X) = M(\Delta_e Y) = 0 \\ \sigma(\Delta_e X) = \frac{\Delta H}{2\sqrt{3}}; \quad \sigma(\Delta_e Y) = \frac{\Delta V}{2\sqrt{3}}. \end{cases}$$

4. Похибки обчислень при перетворенні координат.

$$M \ 1:5.000 \Rightarrow \Delta = 0,1 \text{ мм} \xrightarrow{\text{зворотнє перетворення}} \varphi, \lambda (1.0 < M < 10,0),$$

$$-90^\circ < \varphi < 90^\circ; \quad -180^\circ < \lambda < 180^\circ.$$

Число цифр після десяткової точки не менше 13.

5. Сумарні похибки при нанесенні опорних точок.

$$\Delta_{II} = \sqrt{(E_{xi} + \Delta_e X)^2 + (E_{yi} + \delta + \Delta_e Y)^2} \leq \sqrt{(|E_{xi}| + |\Delta_e X|)^2 + (|E_{yi}| + |\delta| + |\Delta_e Y|)^2} \leq \sqrt{(\Delta_i + 0,5\Delta H)^2 + (\Delta_i + \varepsilon + 0,5\Delta V)^2}.$$

$$\Delta_i = 0,15\text{мм}, \quad \varepsilon = 0,1\text{мм}, \quad \Delta H = \Delta V = 0,3\text{мм} \Rightarrow \Delta_{II} \leq 0,5\text{мм},$$

$$\delta(\varepsilon \ll \delta_{II}) \Rightarrow \Delta_B = \sqrt{\Delta_B^2 X + \Delta_B^2 Y}.$$

$$\begin{cases} \sigma(\Delta_B X) = \sqrt{\sigma_{II}^2 + \sigma^2(\Delta_e X)} = \sqrt{\sigma_{II}^2 + \frac{1}{12} \Delta^2 H}; \\ \sigma(\Delta_B Y) = \sqrt{\sigma_{II}^2 + \sigma^2(\Delta_e Y)} = \sqrt{\sigma_{II}^2 + \frac{1}{12} \Delta^2 V}; \\ \sigma(\Delta_B) \leq \sqrt{2\sigma_{II}^2 + \frac{1}{12} \Delta^2 H + \frac{1}{12} \Delta^2 V}. \end{cases}$$

$$\delta_{II} = 0,15\text{мм}, \quad \Delta H = \Delta V = 0,3\text{мм}, \quad \sigma(\Delta_B X) = \sigma(\Delta_B Y) = 0,1732\text{мм} \Rightarrow \sigma(\Delta_B) \leq 0,25\text{мм}.$$

При складанні завдань врахована умова: $D < 25$ миль (для ВВШ).

$$\text{tg} K' = \Delta\lambda \cos \varphi_{CP} / \Delta\varphi; \quad A = K - \psi = K - 0,5\Delta\lambda \sin \varphi_{CP};$$

$$D = \sqrt{\Delta\varphi^2 + (\Delta\lambda \cos \varphi_{CP})^2} = \Delta\varphi / \cos K'.$$

де K' – локсодромічний напрям; $\varphi_{CP} = 0,5(\varphi_1 + \varphi_2) = \varphi_1 + 0,5\Delta\varphi$; A – ортодромічний напрям;

Розрахунок K' , A , і D виконується методом логарифмування.

Для виконання автоматизованого розрахунку ψ можна застосувати формулу в розгорнутому вигляді [49]

$$\psi = \text{arctg} \frac{\Delta\lambda}{57,3 \left\{ \ln \left[\left(\frac{1 - e \sin \varphi_2}{1 + e \sin \varphi_2} \right)^{e/2} \text{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi_2}{2} \right) \right] - \ln \left[\left(\frac{1 - e \sin \varphi_1}{1 + e \sin \varphi_1} \right)^{e/2} \text{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi_1}{2} \right) \right] \right\}} - \text{arctg} \frac{\sin \Delta\lambda}{\text{tg} \varphi_2 \cos \varphi_1 - \sin \varphi_1 \cos \Delta\lambda}.$$

Перед автоматизованим тестуванням ІК ECDIS, необхідно спочатку виконати серію тестів вручну. Мануальне тестування вимагає значних зусиль, але без нього 100% автоматизація тестування ІК ECDIS неможлива. Через наявність можливості частого перезапуску тестів значення автоматизації тестування ІК ECDIS важко переоцінити.

1.5. Застосування критеріїв оцінки функціональної стійкості системи автоматичного відображення фактичних глибин

У сучасних умовах глобальною вимогою розвитку і використання річкового транспорту на ВВШ України є безпека судноплавства. Ефективним механізмом експлуатації ВТЗ у сучасних умовах інтелектуалізації системи прийняття рішень є перехід на ІМН (річкову *e*-навігацію) й подальше підвищення безпеки руху ВТЗ на ВВШ України. Система автоматичного відображення фактичних глибин є частиною системи ІМН.

Функціонування суднового навігаційного обладнання та обладнання берегової інфраструктури ВВШ України при використанні даних від водомірних постів можна віднести до розподіленої ієрархічної інтелектуалізованої системи управління складного технічного об'єкта. У даному випадку реальний процес функціонування системи суднового навігаційного обладнання та обладнання берегової інфраструктури повинен відповідати розрахунковому [103]. Стійкість функціонування такого методу заснована на аналізі цілого ряду факторів, які в даний час не враховуються у зв'язку з використанням приблизних моделей. Слід зазначити, що проблема визначення функціональної стійкості такої складної організаційної системи на сьогоднішній день залишається відкритою [11].

Теорія функціональної стійкості системи автоматичного відображення фактичних глибин передбачає нові підходи щодо вирішення наукової проблеми та включає сукупність логічно пов'язаних між собою концептуальних, теоретичних і технологічних основ. У теоретичних основах керівна ідея повинна досліджуватися за допомогою науково-обґрунтованих підходів, методів, методик, алгоритмів і математичних моделей. Технологічні основи відображають практичну сторону використання основної ідеї системи автоматичного відображення фактичних глибин на всьому життєвому циклі системи. Теорія функціональної стійкості висуває такі основні напрями досліджень: математична формалізація критеріальних визначень, розробка методів підвищення функціональної стійкості, визначення найефективніших засобів підвищення їх

функціональної стійкості. Слід також відзначити, що система автоматичного відображення фактичних глибин, що входить до системи ІМН, включає сукупність логічно пов'язаних між собою теоретичних і технологічних основ щодо вирішення нової проблеми ефективного використання деталізованого масиву глибин в Inland ECDIS.

Нижче дано обґрунтування запропонованого методу вибору критеріїв оцінки функціональної стійкості складної системи, що відображає ефект від застосування системи автоматичного відображення фактичних глибин на базі електронно-картографічних систем Inland ECDIS на ВВШ України.

Система P_i на базі електронно-картографічних систем Inland ECDIS повинна оптимізуватися за комплексом критеріїв, що характеризують виконання поставлених завдань з ймовірністю безпечного плавання P_{bn} (1.12) для конкретних умов руху ВТЗ.

У [11, 103] наведено основну відмінність стійкості функціонування системи від поняття функціональної стійкості. Система P_i (рис. 1.7) використання деталізованого масиву глибин при проходженні суден по судновому ходу характеризує зміну екранних координат при розрахунковому та зміненому стані системи [4, 8, 11, 103].

$$\begin{aligned} \forall E > 0 \Rightarrow \Delta_{x,y} > 0, V[(x_0, y_0), (x_0^1, y_0^1)] < \Delta_{x,y} \Rightarrow \\ \Rightarrow V\{(x, y)[t, (x_0, y_0)], (x, y)[t, (x^1, y^1)]_0\} < E, \quad \forall t \in (0, \infty), \end{aligned}$$

де x_0, y_0 – екранні координати при розрахунковому стані системи; (x_0^1, y_0^1) – екранні координати при зміненому стані системи; V – векторний простір x_0, y_0 ; E – раціональні числа, що показують відхилення зміненого стану системи від розрахункового.

Функціональна стійкість системи P_i характеризує відхилення основних функцій від екранних координат при розрахунковому та зміненому стані системи [103]:

$$\forall E > 0 \Rightarrow \Delta_{x,y} > 0, V[f(x_0, y_0), f(x_0^1, y_0^1)] < \Delta_{x,y} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V\{f(x, y)[t, (x_0, y_0)], f(x, y)[t, (x^1, y^1)]_0\} < E, \quad \forall t \in (0, \infty),$$

де $f(x,y)$ – функція від координат при розрахунковому та зміненому стані системи.

$$f(x, y) : \leftrightarrow Z_{\text{chart}} \pm \Delta Z(t) \& Z_{\text{bridge}} \pm \Delta Z(t) \& Z_{\text{power lines}} \pm \Delta Z(t) :$$

$$f(x_0-0) = f(x_0+0) = f(x_0) : \forall x \in R \quad x(t) = T_t x(t_0)$$

Таким чином, функціональна стійкість системи автоматичного відображення фактичних глибин зумовлюється її властивістю зберігати протягом заданого часу можливість виконання своїх основних функцій в межах, встановлених нормативними вимогами в умовах протидії зовнішнім дестабілізуючим факторам.

На рис. 1.18 показані основні етапи функціональної стійкості системи P_i на ВВШ України, що включає систему елементів берегової інфраструктури та суднового навігаційного обладнання [11].

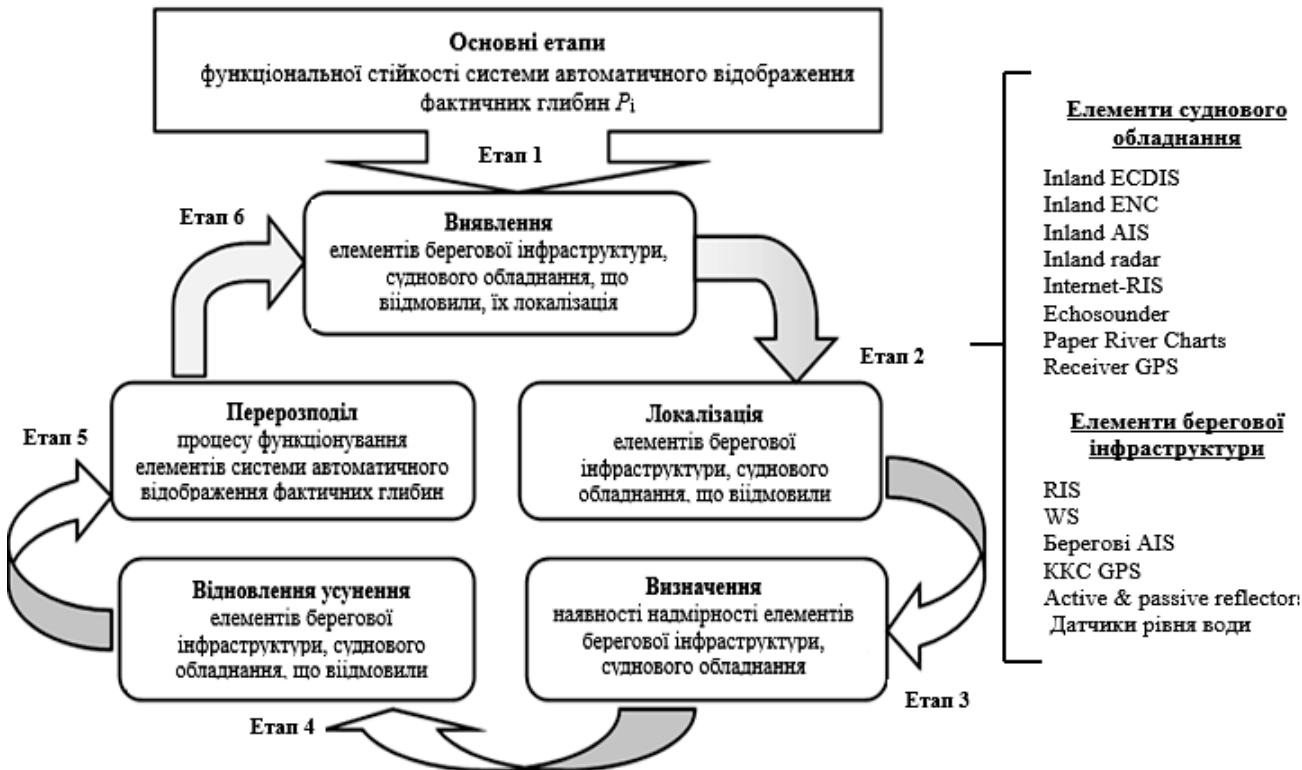


Рисунок 1.18 – Основні етапи функціональної стійкості системи автоматизованого відображення фактичних глибин P_i

У процесі функціонування етапів функціональної стійкості берегової інфраструктури, суднового навігаційного обладнання не виключається ситуація, коли окремі її елементи можуть бути неоптимальними, а система в цілому – оптимальною відповідно до встановлених вимог, у зв'язку з чим різномірність критеріїв найчастіше призводить до того, що вони суперечать один одному. У цьому випадку задоволення всіх критеріїв є компромісним варіантом. Окрім встановлення факту стійкості, повинен бути визначений запас стійкості, а також області стійкості у векторному просторі параметрів системи [103]. Система автоматичного відображення фактичних глибин P_i є адаптивною системою, тобто вона має можливість перебудовуватися відповідно до зовнішніх умов для оптимального досягнення загальної мети.

Поняття надійності та функціональної стійкості внаслідок того, що вони виражають і характеризують якісну визначеність системи, співпадають у певному відношенні, і в той же час вони виражають різні критерії функціонування внутрішнього механізму системи. Забезпечення функціональної стійкості в даному випадку вимагає спеціального додаткового апаратного й програмного забезпечення, яке не враховується в безвідмовній системі [103].

Принциповим є те, що усунення наслідків позаштатних ситуацій здійснюється шляхом: перерозподілу уже існуючих ресурсів; зміни алгоритму функціонування системи; зміни режиму роботи її підсистем [4, 8, 11, 103].

Таким чином, на будь-яку позаштатну зміну стану системи автоматичного відображення фактичних глибин P_i на ВВШ України повинна бути вироблена реакція у вигляді набору керуючих впливів, спрямованих на нейтралізацію наслідків за мінімальний час з мінімальними втратами показників функціональної стійкості системи. На рис. 1.19 показаний алгоритм реалізації функціональної стійкості системи P_i [11, 103].

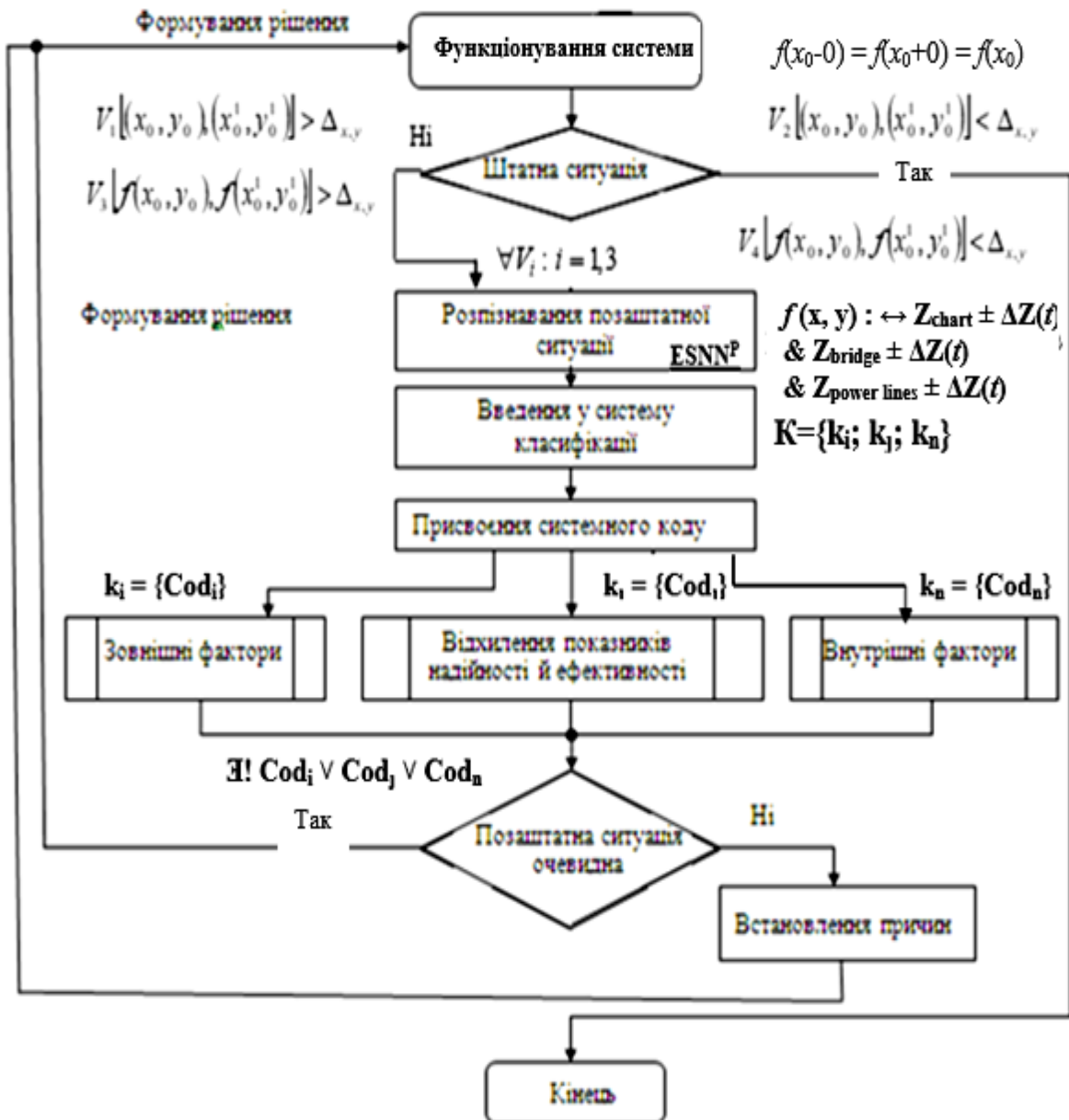


Рисунок 1.19 – Алгоритм реалізації функціональної стійкості системи автоматичного відображення фактичних глибин P_i на ВВШ України

Система автоматичного відображення фактичних глибин P_i є багатопозиційною телекомунікаційною системою. Звідси витікають основні вимоги до критеріїв забезпечення функціональної стійкості системи.

Використаємо математичну модель у вигляді неорієнтованого графа у зв'язку з тим, що логічні зв'язки в системі є двосторонні. У графі відсутні петлі й кратні ребра. Множина вершин V відповідає множині складових елементів системи P_i

потужності n , а множині ребер $\langle E, F \rangle$ відповідає множина функціональних зв'язків між складовими елементами системи P_i [8, 11, 103].

$$G(V, \langle E, F \rangle), V = \{v_i\}, \langle E, F \rangle = \left\{ \langle e, f \rangle_{ij} \right\} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (1.15)$$

Тоді $\langle v, e, f \rangle$ характеризує конкретний стан системи P_i ,

де $v \subseteq V, |v| \leq |V|; \quad e \subseteq E, |e| \leq |E|; \quad f \subseteq F, |f| \leq |F|$.

$$\Delta v = v^+ \cap v^-. \quad \Delta e = e^+ \cap e^-. \quad \Delta f = f^+ \cap f^-,$$

де v^+, e^+, f^+ – збільшені значення $\{V, E, F\}$ складових елементів системи P_i ;

v^-, e^-, f^- – зменшені значення $\{V, E, F\}$ складових елементів системи P_i .

$$|v^+| = |V|. \quad |e^+| = |E|. \quad |f^+| = |F|. \quad |v^-| < |V|. \quad |e^-| < |E|. \quad |f^-| < |F|.$$

$$v^+, e^+, f^+ \text{ id } Z_{\text{chart}} + \Delta Z_{\text{max}}, Z_{\text{bridge}} + \Delta Z_{\text{max}}, Z_{\text{power lines}} + \Delta Z_{\text{max}},$$

$$v^-, e^-, f^- \text{ id } Z_{\text{chart}} - \Delta Z_{\text{min}}, Z_{\text{bridge}} - \Delta Z_{\text{min}}, Z_{\text{power lines}} - \Delta Z_{\text{min}} \}.$$

Наприклад, аналіз основних критичних факторів, що визначають обмеження руху ВТЗ, представляє принциповий інтерес для застосування критеріїв оцінки функціональної стійкості і можливостей їх реалізації в системі P_i (рис. 1.7) за наступними значеннями:

– критичні фактори, що визначають обмеження руху відносно ВСР і НСР

$$|v_1^+| = |V_1|, \quad |e_1^+| = |E_1|, \quad |f_1^+| = |F_1|, \quad |v_1^-| < |V_1|, \quad |e_1^-| < |E_1|, \quad |f_1^-| < |F_1|,$$

$$|v_1^-| < |v_1| < |v_1^+|, \quad |e_1^-| < |e_1| < |e_1^+|, \quad |f_1^-| < |f_1| < |f_1^+|.$$

ВСР визначається з урахуванням підвищення рівня води, що викликано несталим рухом при добовому регулюванні ГЕС, роботі насосних станцій, спорожненні або наповненні камер шлюзів, вітровим наганянням.

НСР визначається з урахуванням зниження рівня води, викликаного несталим рухом води при добовому регулюванні ГЕС, випорожненням або наповненням камер шлюзів і роботою насосних станцій, вітровим згоном, а також можливим переформовуванням русла (наприклад, зниженням дна внаслідок розмивів або інтенсивних днопоглиблювальних робіт).

ВСР і НСР в каналах річки Дніпро викликані несталим рухом води в каналі, згінно-нагінними вітровими коливаннями рівня $h_{н,с}$ і визначаються відповідними нормальними підпірними рівнями, встановлюваними при розбивці каналу на б'єфи.

$$h_{н,с} = 2 \cdot 10^{-4} \frac{L}{H} W^2 \cos \alpha,$$

де L – довжина каналу, км; H – глибина води в каналі, м; W – швидкість вітру, м/сек; α – кут між віссю каналу і напрямком вітру.

Критичні фактори, що визначають обмеження руху відносно ВСР і НСР **не сформовані**. Так: інформація про верхній і нижній судноплавні рівні РІС України **не надається** (розділ 1.3, рис. 1.11);

– критичні фактори, що визначають обмеження руху відносно абсолютних систем відліку висот

$$v_2^+ = v_2^- = V_2 = const \text{ (у межах ділянок між шлюзами)}$$

$$\text{при } v_2^+ \neq v_2^- \Rightarrow H_{chart} + \delta H \text{ (у межах дії ВП)}$$

З огляду на критичність осадки суден по відношенню до глибини суднового ходу абсолютна система відліку висот (у межах ділянок між шлюзами) повинна бути **єдиною**, або в показання глибин, нанесених на карти, повинна вводитися обов'язкова поправка δH за різницею вертикальних систем відліку;

– критичні фактори, що визначають обмеження для судноплавства щодо глибин суднового ходу V_3

$$v_3^- < V_3 - \Delta_3,$$

де Δ_3 – осадка судна на стоянці; V_3 – глибина суднового ходу; Δ_3 – запас по глибині, який залежить від значення V_3 і типу ґрунту;

– критичні фактори, що визначають обмеження для судноплавства щодо відстані між ВП

Різниця висот миттєвого рівня в 2-х крайніх точках відстані між WS (умовної зони k_3) не повинна перевищувати половини точності вимірювання і нанесення глибин на карту [80].

$$v_4^+ - v_4^- = \frac{k_3 \cdot m_{z0}}{2} : (1.3) \Rightarrow k_3 = \frac{2 \cdot (h_2 - h_1)}{m_{z0}},$$

де $h_2 - h_1$ – різниця перевищень миттєвого рівня між WS; m_{z0} – загальна погрішність глибини, показаної на карті;

– критичні фактори, що визначають обмеження для судноплавства щодо точності v_5 вимірювання глибин H [80]

$$v_5^+ \vee v_5^- : v_5^- < v_5 < v_5^+ = \begin{cases} \pm 0,05\text{м} : H = 0,1 - 0,5\text{м}, \\ \pm 0,10\text{м} : H = 5,1 - 20,0\text{м}, \\ \pm 0,20\text{м} : H > 20,0\text{м}, \\ \pm 0,05\text{м} : H < 5\text{м} \text{ (намітка)}, \\ \pm 0,01\text{м} : H \text{ (лот)}. \end{cases}$$

– критичні фактори, що визначають обмеження для судноплавства щодо габаритів мостів

$$v_6^- < V_6 - 2 \cdot \Delta_6, \quad v_{6-1}^- < V_{6-1} - \Delta_{6-1},$$

де V_6 – гранична ширина суднового ходу при проході під мостами, позначена на картах; Δ_6 – максимальне відхилення від осі суднового ходу при проході під

мостами; V_{6-1} – висота моста над фактичним рівнем води; Δ_{6-1} – мінімальний запас по висоті, який залежить від V_{6-1} і характеру ВВШ: наявність течії або зрегульовані ділянки;

– критичні фактори, що визначають обмеження для судноплавства щодо висоти проводів повітряних ліній електропередачі

$$v_7^- < V_7 - \Delta_7,$$

де V_7 – найменша відстань проводів від фактичного рівня води; Δ_7 – мінімальний запас по висоті, який залежить від напруги в лінії електропередачі;

– критичні фактори, що визначають обмеження для судноплавства щодо точності знання координат в обмежених районах руху

Допустима величина похибки визначення місця

$$v_8 = v_8^+ = v_8^- \leq 10m : P_{\text{бп}} > 0,95, Td \leq 2c,$$

де $P_{\text{бп}}$ – ймовірність безпечного плавання; Td – інтервал дискретності поновлення координат.

$$(1.12) \Rightarrow P_{\text{бп}} \geq P_{\text{зад}} \Rightarrow v_8 = f(P_{\text{бп}}, Td) : \inf Td = Td - 2 \cdot T_{\text{обс}} \Rightarrow \text{графік } f(D, M_m). \quad (1.16)$$

Далі розрахунки (1.16) автоматизуються в Inland ECDIS по аргументах D і M з використанням

$$P_{\text{бп}} = 0,5[1 + \Phi(Z)], \quad (1.17)$$

де $\Phi(Z)$ – функція Лапласа, що визначається по аргументу $Z = D\sqrt{2/M}$.

Ознаками функціональної стійкості системи є зв'язність графа $\{K=1\}$ і наявність в його складі мостів $N_L \geq 1$, а також вузлів з'єднання $N_V \geq 1$.

$$\{K=1\} \wedge [\{N_V \geq 1\} \vee \{N_L \geq 1\}]. \quad (1.18)$$

Слід зазначити, що (1.18) суттєвим чином знижує функціональну стійкість розподіленої інформаційної системи, оскільки всі маршрути передачі інформації з вершин одного підграфа у вершини іншого будуть включати в себе цей міст або вузол сходження. Тому для приведення системи у функціонально стійкий стан необхідно вводити в структуру резервні лінії зв'язку для того, щоб не було в структурі мостів або вузлів зчленування. При цьому будуть з'являтися декілька незалежних та альтернативних маршрутів передачі інформації [8, 11, 103].

– критичні фактори, що визначають обмеження для судноплавства щодо точності ENC [26]

$$v_9^+ \leq 0,5 \text{ мм} \left| \begin{array}{l} \delta_{\text{ц}} = 0,15 \text{ мм}, \quad \Delta H = \Delta V = 0,3 \text{ мм}, \\ \sigma(\Delta_B X) = \sigma(\Delta_B Y) = 0,1732 \text{ мм} \Rightarrow \sigma(\Delta_B) \leq 0,25 \text{ мм}, \end{array} \right. \quad (1.19)$$

де $\delta_{\text{ц}}$ – похибки цифрування ENC; $H, \Delta V$ – лінійні розміри пікселя; $\sigma(\Delta_B Y) = \sigma(\Delta_B X)$ – СКП по X, Y ; X, Y – екранні координати.

Наведені кількісні критерії оцінки функціональної стійкості системи необхідно враховувати для формалізації критеріїв, закладених в логіку аналізу підсистем в середовищі системи P_i (рис. 1.7) використання деталізованого масиву глибин при проходженні суден по судовому ходу.

1.6. Огляд та аналіз літературних джерел за темою дослідження

Слід зазначити, що у зв'язку з тим, що в Україні обов'язкова установка Inland ECDIS на річкові судна здійснюється з 2017 р., то публікації, пов'язані з проблемами оновлення відображуваного масиву глибин в SENC при експлуатації Inland ECDIS, дуже обмежені а деякі її питання досліджені не повністю, поверхово і побіжно.

Так, у процесі виконання в 2013 році на замовлення Мінтрансу Росії науково-дослідної роботи «Совершенствование нормативной технической базы, регулирующей использование государственных навигационных карт и баз данных

навигационной информации в интересах навигационно-информационного обеспечения транспортного комплекса Российской Федерации» здійснювався пошук конструктивного рішення наукової задачі щодо вдосконалення всієї картографічної бази даних Inland ENC. Що стосується оновлення відображуваного масиву глибин в SENC, то дана проблема вирішена не була і розглядалася тільки на рівні пропозицій і гіпотез [72].

У наукових працях Вагущенка Л. Л. «Судовые навигационно-информационные системы», «Современные информационные технологии в судовождении», Гагарського Д. А. «Электронные картографические системы в современном судовождении» проблема використання деталізованого масиву глибин полягала тільки у врахуванні поправок з використанням картографічного редактора Inland ECDIS, тобто вручну без системного науково обґрунтованого підходу до періодичності оновлення діючих глибин на ENC, її автоматизації і відображення на екрані [33, 44].

У монографії Паніна В. В. «Структурне моделювання та символні перетворення для управління рухом транспортних засобів» (Міністерство освіти і науки, 2014 р.) та дисертації Дороніна В. В. «Методи підвищення ефективності експлуатації водного транспорту засобами електронно-картографічної інтелектуалізації» (Київ, КДАВТ, 2016 р.) науково обґрунтований підхід до даного напрямку розглядався також тільки у вигляді гіпотези без теоретичного обґрунтування [120].

Найбільш конструктивні пропозиції були викладені у статті Каретнікова В. В. «Перспективи розвитку електронних навігаційних карт внутрішніх водних шляхів Російської Федерації», опублікованій у журналі «Річковий транспорт (XXI століття)» у 2014 році, де запропоновані рекомендації по впровадженню нових, конструктивних підходів до створення та оновлення баз даних навігаційної інформації Inland ENC на ВВШ РФ. Було сформульовано ряд дуже цікавих науково обґрунтованих рекомендацій щодо створення та оновлення баз даних Inland ENC, впровадження яких на водному транспорті, безумовно, забезпечить підвищення безпеки судноплавства. У публікації поставлено під сумнів саме

необхідність деталізації масиву глибин на Inland ENC, висунуті гіпотези (відмовитися від кодування масивів глибин в осередках ENC, прискорити процес відображення (прорисовування) елементів спеціального навантаження осередків ENC, знизити навантаження відображення ENC, скоротити тимчасові витрати і вартість виробництва осередків ENC, створити передумови для оптимізації кількості знаків ЗНО) – без теоретичного обґрунтування. Питання автоматизації введення поправок до масиву глибин на SENC не розглядалося [72].

У європейській програмі COMPRIS – «Платформа управління інформацією і експлуатацією річок», яка об'єднала зусилля західноєвропейських країн щодо впровадження єдиних технічних вимог для інформаційної системи на ВВШ Європи, проблема щодо автоматизації оновлення відображуваного масиву глибин на SENC при експлуатації Inland ECDIS також розглядалася тільки опосередковано.

Проблемам головної відмінної особливості ВВШ України, що полягає в нестабільності глибин, русел річок і характеристик водних потоків, присвячені праці Ободовського О. Г. [118] Так, наприклад, на річці Дніпро суттєві зміни суднового ходу можуть спостерігатися протягом однієї навігації. При цьому важливо відзначити, що подібним переформуванням річкового русла властива випадковість і неоднорідність глибин.

Що стосується розвитку методів навігації на річковому транспорті, то вагомі наукові здобутки висвітлені в працях вітчизняних вчених: Баранова Г. Л., Беляєвського Л. С., Вагущенко Л. Л., Дороніна В. В., Паніна В. В., а також закордонних вчених: Волкова А. Б., Гагарського Д. А., Каретнікова В. В., Еріка Тадо Тедонзонга. Застосування в розділі 1 дисертації поняття функціональної стійкості системи відображення фактичних глибин проводилося з урахуванням різних варіантів поняття стійкості – стійкості по Ляпунову, стійкості по ймовірності, стійкості по Лагранжу та інше. Це поняття відносяться не до даного об'єкта, а тільки до якої-небудь його властивості. Для різних систем розроблено достатньо багато методів аналізу стійкості: методи Ляпунова, Гурвіца,

Михайлова, Попова тощо. В класичній теорії стійкості розроблено критерії, за якими можна встановити факт стійкості системи.

Поняття функціональної стійкості для динамічної системи вперше визначено у роботах професора Машкова О. А. [103] Теорію побудови функціонально-стійких розподілених автоматизованих систем управління запропоноване професором Барабашем О. В. Даний підхід базується на оцінках зв'язності графів мережі. Є також інші підходи щодо забезпечення функціональної стійкості для навігаційних систем спеціального призначення (професор Кравченко Ю. В.). Слід зазначити, що класичні підходи теорії стійкості для сучасних систем, засновані на активному використанні методів штучного інтелекту, часто не відповідають вимогам щодо адекватності й надійності оцінок стійкості функціонування таких систем. Разом з тим, моделі і методи теорії функціональної стійкості залежать від предметної області їх застосування.

Відзначаючи важливе значення, яке надається автоматизованому тестуванню Inland ECDIS на систему використання деталізованого банку даних глибин, відзначимо, що вперше автоматизоване тестування згадується в книзі Фредеріка Брукса «Мифический человеко-месяц», де йдеться про перспективи використання модульного тестування. Проаналізовано два основних підходи до автоматизації тестування: тестування на рівні коду і тестування ІК. До першого типу відноситься, зокрема, модульне тестування. До другого – імітація дій користувача за допомогою спеціальних тестових фреймворків. Найбільш високими темпами автоматизація тестування стала розвиватися у 1990-х роках.

Слід відзначити, що протягом останніх 10 років розвиток сучасних електронно-картографічних засобів для ефективного використання водного транспорту проходив пришвидшеними темпами. Електронно-картографічні навігаційні системи уже продемонстрували своє значення і експлуатаційну надійність у роботі. На теперішній час процес їх вдосконалення продовжується. Активний розвиток та освоєння засобів навігаційного забезпечення знайшли відображення у збільшенні кількості публікацій і досліджень з питань підвищення ефективності процесів експлуатації навігаційного електронно-картографічного

обладнання. Аналіз проблеми використання технології тестування, контролю та верифікації технологічних модулів для функціонування Inland ECDIS показав, що даний напрям є малодослідженим у порівнянні з іншими напрямками експлуатації електронно-картографічних систем. Крім того, в стандартах Inland ECDIS ця вимога не є однозначною [130]. Не дивлячись на складність та існуючі проблеми, стала очевидною користь, яку можна отримати шляхом автоматизації тестування і ІК Inland ECDIS для вирішення окремих задач з безпечної експлуатації ВТЗ.

Так, аналіз нормативно-правових актів показав, що вимоги до електронно-картографічного обладнання викладені без конкретного алгоритму дій операторів, що дало можливість розробнику самостійно розробляти і впроваджувати алгоритми реалізації функціональних можливостей електронно-картографічного обладнання. А це зумовило появу істотних відмінностей інформаційно-управляючих панелей, різних підрівнів меню, форматів відображення ENC, що значно ускладнило експлуатацію різних типів систем, включаючи їх тестування. У зв'язку з цим, окрім обов'язкової підготовки судноводіїв, багато судноплавних компаній змушені проводити додаткову перепідготовку по конкретному типу обладнання Inland ECDIS і обирати єдиного постачальника в судноплавній компанії. У резолюціях ЄЕК ООН крім обов'язкових вимог до обладнання Inland ECDIS («повинно бути») викладаються і не обов'язкові («може бути») без конкретного зазначення мінімальних вимог щодо відображення такої інформації. Це стосується автоматизації тестування ІК, підключення датчиків інформації: AIS, ARPA, radar, ехолота і бази даних додаткової навігаційної інформації, що також приводить до істотних відмінностей відображуваної інформації.

Питання підвищення ефективності процесів експлуатації навігаційного електронно-картографічного обладнання для безпечного використання засобів водного транспорту досліджувалися у роботах, статтях і дослідженнях Алейсійчука М. С., Алексішина В. Г., Богом'я В. І., Баранова Г. Л., Беляєвського Л. С., Вагущенка Л. Л., Гагарського Д. А., Гладких І. І., Данцевича В. А., Кошового А. А., Кошового В. М., Лобастова В. М., Мальцева А. С., Носкова А. А., Сизова М. М., Тихонова І. В., Цимбала М. М. Питання, пов'язані з

автоматизацією тестування ІК ECDIS, не розглядалися, що робить процедуру перевірок досить або дуже трудомісткою, а в ряді випадків – дуже складною.

На підставі аналізу наявних публікацій можна зробити висновок, що спільними для всіх публікацій є проблеми використання додаткової бібліотеки об'єктів, відмова від кодування відміток глибин і обов'язкове кодування області фарватеру. Наприклад, в Австрії кодуються тільки ізобати. У США також кодуються тільки ізобати, позначки глибин відсутні. Примітно, що на ВВШ США плавучі ЗНО застосовуються лише в деяких місцях, а берегові ЗНО майже відсутні. Такий підхід можна пояснити необхідністю мати ENC, що створені на достовірній базі даних, в тому числі на підставі фактичного оновленого масиву глибин, і фактично повною відмовою від лоцманського принципу судноводіння (р. Міссісіпі).

В Україні системний науково обґрунтований підхід до даної проблеми до теперішнього часу не застосовувався. Тому реалізація досліджень вирішить проблему використання деталізованого масиву глибин на підставі системного науково-обґрунтованого підходу до періодичності оновлення діючих глибин на ENC, її автоматизації і відображення на екрані.

1.7. Основні положення та основні напрями досліджень, що виносяться на захист дисертації

Основні положення, які виносяться на захист дисертації обґрунтовуються специфікою предметної області дослідження, що пов'язано з безпекою судноплавства на ВВШ України, двоїстістю природи використання деталізованого масиву глибин в річкових електронно-картографічних системах. З одного боку, це вимоги безпеки судноплавства, пов'язані з достовірністю глибин і ізобат, нанесених на SENC, тобто не мають суто економічного характеру. З іншого боку, економічна складова оцінюється системою критеріїв, пов'язаних з впровадженням зазначених положень і конструктивного вирішення ряду додаткових задач: відмова від кодування масивів глибин в осередках ENC;

зменшення навантаження відображення ENC; зменшення тимчасових витрат і вартості виробництва осередків ENC; відмова від лоцманського принципу судноводіння; відмова від установки берегових і плавучих засобів навігаційного обладнання (ЗНО).

Механізмом реалізації основних положень є системний науково обґрунтований підхід до автоматизації і періодичності оновлення деталізованого масиву глибин на ENC для підвищення безпеки руху ВТЗ з урахуванням специфіки функціонування транспортної системи України.

Основна гіпотеза положень полягає в тому, що перспективи системного науково обґрунтованого підходу до автоматизації і періодичності оновлення деталізованого масиву глибин на ENC визначені та обмежені рівнем відповідальності держави за безпеку судноплавства на ВВШ України.

Основним напрямом дисертаційного дослідження є розробка методів автоматизації роботи функціональних підсистем з підвищеним рівнем безпеки руху на прогнозно-планових маршрутах електронно-картографічної інтелектуалізації в різних надзвичайних умовах. Розробка методів автоматизації такої функціональної системи сприяє більш ефективному плаванню в умовах річкової e-навігації, попередженню посадок на мілину та забезпеченню безпечного проходу під мостами, лініями електропередач в стислих умовах, включаючи реалізацію додаткових завдань.

З метою реалізації основного напрямку дисертаційного дослідження запропоновані етапи розробки методів автоматизації оновлення деталізованого масиву глибин з відповідними різноманітними сенсорами та датчиками, які, на відміну від існуючих, забезпечують системно-комплексне своєчасне відображення поточних значень змінних параметрів на єдиній електронній карті

Етапи дослідження:

1. Проведення аналізу сучасного стану експлуатації ВТЗ і берегової інфраструктури на підставі експлуатації засобів електронно-картографічної навігації.

2. Застосування методологічних засад реалізації обчислювального інтелекту при використанні деталізованого масиву глибин в Inland ECDIS в умовах експлуатації на ВВШ.
3. Вирішення основного і додаткових завдань, які впливають у зв'язку із впровадженням методів реалізації обчислювального інтелекту при використанні деталізованого масиву глибин в Inland ECDIS.
4. Розробка комплексних методів ефективного використання водного транспорту на підставі впровадження методів реалізації обчислювального інтелекту при використанні деталізованого масиву глибин в Inland ECDIS з дотриманням вимог з безпеки руху.
5. Проведення апріорної оцінки і імітаційного моделювання з визначенням показників ефективності запропонованих методів ергатичного використання водного транспорту з електронно-картографічними засобами.

Основні положення та основні напрями досліджень, що виносяться на захист дисертації, ґрунтуються на результатах аналізу сучасного стану функціонування засобів електронно-картографічної інтелектуалізації, об'єктів берегової інфраструктури, аналітичного огляду тенденцій розвитку їх базових математичних моделей, огляду та аналізу літературних джерел за темою дослідження.

У роботі на основі проведеного аналізу вперше пропонується введення у науковий обіг дефініції «диференційний режим роботи водомірних постів», яка включає в себе поняття автоматизації поновлення деталізованого масиву глибин в річкових електронно-картографічних системах, що сприятиме вирішенню прикладних задач для підвищення безпеки руху ВТЗ. Тобто запропоновано новий спосіб осмислення поняття ефективності використання інструментального методу навігації на ВВШ. Наближеним аналогом диференційного режиму роботи водомірних постів є диференційний режим роботи глобальної супутникової навігаційної системи GPS (DGPS).

Висновки по РОЗДІЛУ 1

1. Відмічено, що сучасний етап розвитку навігаційної техніки характеризується появою на судах річкового флоту значної кількості засобів електронно-картографічної інтелектуалізації нового покоління, яким властиві покращені навігаційні та експлуатаційні характеристики. Наведені міжнародні та національні вимоги експлуатаційних і технічних вимог до Inland ECDIS, які визначені стандартами та резолюціями ЄЕК ООН, Дунайської комісії, Центральної комісії судноплавства по Рейну. Системи відображення карт та інформації різняться за рівнем вимог, що до них пред'являються, та за можливостями відображення навігаційно-гідрографічної інформації на екрані монітора. Застосування Inland ECDIS не звільняє судноводія від використання паперових річкових карт. Це питання до теперішнього часу залишається відкритим і потребує додаткового вивчення.

2. Актуалізований повний перелік основних міжнародних документів, які регламентують установку та експлуатацію Inland ECDIS на річкових судах. Проведено аналіз сучасного стану функціонування електронно-картографічних навігаційних засобів на водних акваторіях судноводіння. Наведено огляд конфігурацій Inland ECDIS в залежності від проектів і цільового призначення суден.

3. На підставі аналізу функціональних відмінностей Inland ECDIS від морських ECDIS встановлено, що функціональні можливості Inland ECDIS, що складають інтерактивне управління елементами мультимедійного простору інтелектуального терміналу, повинні бути розширені додатковими елементами навігаційних завдань. Елементи включення наведені в таблиці. Крім того, Inland ECDIS повинна стати ланкою інтегрованої інформаційної системи для управління транспортними потоками на ВВШ.

4. Для визначення напрямку дисертаційного дослідження приведено порівняльний аналіз відмінностей стандартів морських і річкових ECDIS.

5. Визначені шляхи прискорення отримання навігаційної інформації для ефективного використання електронно-картографічних засобів при несенні навігаційної ваhti з використанням РІС.

6. Показані значні переваги вирішення навігаційних завдань за допомогою Inland ECDIS у порівнянні з аналогічними рішеннями на традиційних паперових річкових навігаційних картах. З цією метою запропонована методологія ранжування критеріїв актуалізації навігаційних паперових карт та ECDIS.

7. Формалізовані внутрішні та зовнішні зв'язки при експлуатації Inland ECDIS у вигляді єдиної структурної моделі.

8. При істотних досягнутих успіхах в цьому напрямі є ряд невирішених питань, які є предметом подальших перспективних наукових досліджень, чим мотивується вибір тематики дисертаційного дослідження.

9. Застосований системний аналіз використання деталізованого масиву глибин при експлуатації Inland ECDIS. Для вирішення досить складного завдання наведені ознаки досліджуваної системи використання деталізованого масиву глибин в Inland ECDIS. Окрему групу завдань застосованого системного аналізу склали завдання дослідження комплексу взаємодій аналізованих об'єктів із зовнішнім середовищем.

10. Здійснено генерування множини альтернатив в системному аналізі проблеми з використанням методу сценаріїв і моделі «чорного ящика». У зв'язку зі значною кількістю альтернатив проведена їх попередня і перспективна класифікація.

11. Побудована структурна схема функціонування системи використання деталізованого масиву глибин (P) при проходженні суден по судновому ходу. Формалізована функціональна і кореляційна залежність, при якій кожному значенню ознаки P_i відповідають різні, заздалегідь непередбачувані значення ознаки P_j , і навпаки.

12. Обґрунтована можливість використання обчислювального інтелекту при виявленні дефектів базової версії програмного продукту Inland ECDIS,

заснованої на «нечіткій» логіці. Представлений узагальнений лінійний алгоритм виявлення дефектів функціонування ІК Inland ECDIS. Визначені формалізовані завдання, які необхідні для максимізації тестового покриття при автоматизованому тестуванні підсистеми P_9 .

13. Застосовані критерії оцінки функціональної стійкості системи автоматичного відображення фактичних глибин на ВВШ України. Наведені основні відмінності стійкості функціонування системи від поняття функціональної стійкості. Показані основні етапи функціональної стійкості системи, що включає систему елементів берегової інфраструктури та суднового навігаційного обладнання. Розроблений алгоритм реалізації функціональної стійкості системи на ВВШ України з використанням математичної моделі у вигляді неорієнтованого графа. Визначені основні критичні фактори, що визначають обмеження руху ВТЗ в системі.

14. Здійснено огляд та аналіз літературних джерел за темою дослідження. Відзначено, що публікації, пов'язані з проблемами оновлення відображуваного масиву глибин в SENC при експлуатації Inland ECDIS, дуже обмежені, а деякі її питання досліджені не повністю, поверхово і побіжно. Проаналізовані основні напрями досліджень по даній проблематиці. Обґрунтовані не розкриті в повному обсязі шляхи вирішення деяких питань підвищення ефективності процесів експлуатації навігаційного електронно-картографічного обладнання. Визначені малодосліджені аспекти процесів їх експлуатації.

15. Визначені основні положення та основні напрями досліджень, що виносяться на захист дисертації.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ІНТЕГРАЦІЇ МЕТОДІВ ВИКОРИСТАННЯ ДЕТАЛІЗОВАНОГО МАСИВУ ГЛИБИН ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ INLAND ECDIS

2.1. Методологія системної оптимізації структури і стратегії використання деталізованого масиву глибин

Перш ніж перейти до викладу методології системної оптимізації і стратегії використання деталізованого масиву глибин при експлуатації Inland ECDIS сформулюємо деякі положення, які будуть використані при обґрунтуванні цієї методології [13].

Розглянемо деталізований масив глибин у вигляді множини $\{R_{\Delta h}, R_S\}$, зображеної на рис. 2.1 [24].

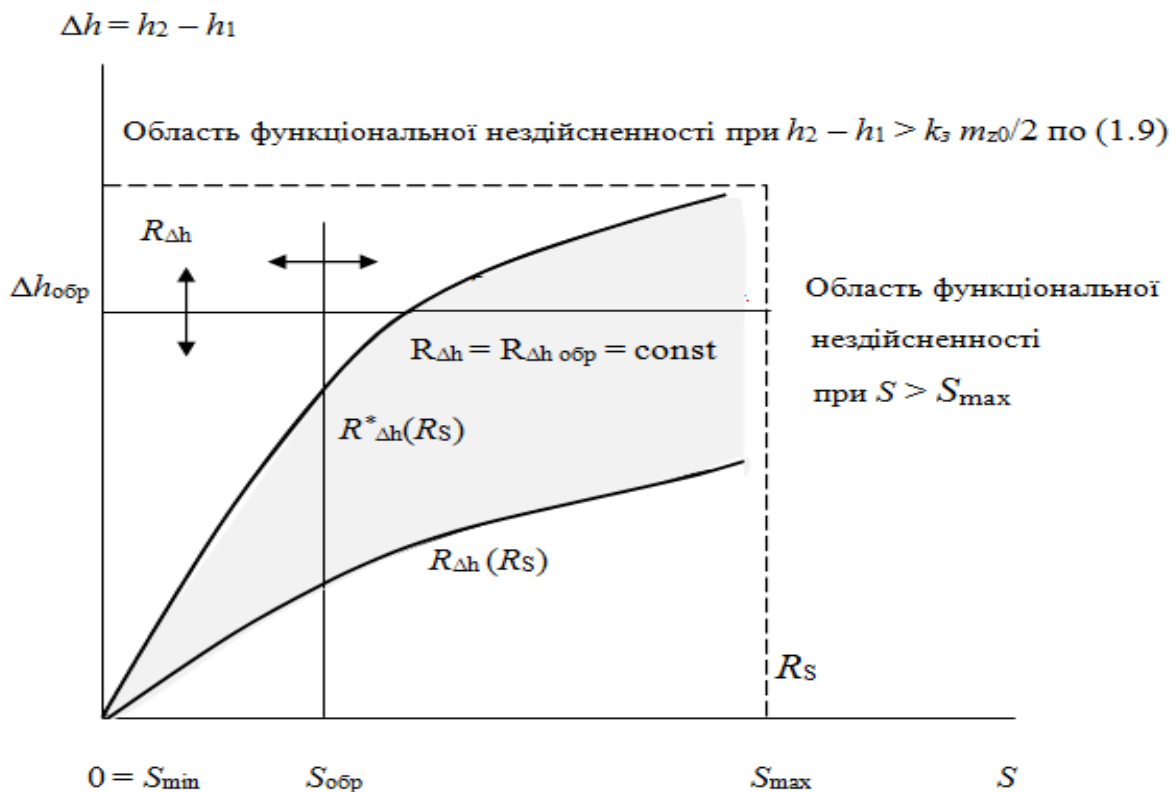


Рисунок 2.1 – Співвідношення функціональних показників $\Delta h = h_2 - h_1$ і S

На рис. 2.1 вісь ординат – значення $\Delta h = h_2 - h_1$ (різниця миттєвих рівнів води в початковій і кінцевій точці зони дії водомірного поста), вісь абсцис – значення S (зона дії водомірного поста на судновому ході). Далі при міркуванні керуємося формулами, викладеними в (1.9) [13, 24].

Так, знизу множина $\{R_{\Delta h}, R_S\}$ обмежена віссю абсцис S , при цьому точкам $R_{\Delta h} = 0, R_S = 0$ відповідає очевидна ситуація

$$S = S_{\min} = 0 \Rightarrow \Delta h = 0.$$

Права границя множини $\{R_{\Delta h}, R_S\}$ відповідає неймовірній, але можливій ситуації $R_S = S_{\max}$, при якій обмежена зона дії водомірного поста і яка визначає межу функціональної здійсненності банку даних глибин.

Зверху множина обмежена кривою $R_{\Delta h}(R_S)$, причому $\sup [R_{\Delta h}(R_S)] = R_{\Delta h\Pi}$, де $R_{\Delta h\Pi}$ – потенційне значення функціонального результату $\Delta h = h_2 - h_1$. Асимптотичне поведіння $R_{\phi}(R_B)$ відображає відомий факт, що збільшення R_{S1} вимагає збільшення $R_{\Delta h}$.

Кожній точці множини $\{R_{\Delta h}, R_S\}$ у загальному випадку відповідає множина еквівалентних значень $R_{\Delta h}$ і R_S , які відрізняються своїми структурними й поведінковими особливостями.

Умовам $R_{\Delta h} = R_{\Delta h \text{ обр}} = \text{const}$ і $R_S = R_{S \text{ обр}} = \text{const}$ відповідає множина можливих варіантів, значення $R_{\Delta h}$ і R_S яких належать відповідно множинам $M_1 = \{R_{\Delta h}, R_S\} \cap R_{\Delta h \text{ обр}}$ і $M_2 = \{R_{\Delta h}, R_S\} \cap R_{S \text{ обр}}$. Очевидно, що ці варіанти не еквівалентні. Кращі з цих варіантів характеризуються відповідно умовами [24]:

$$R_{\Delta h \text{ обр}}, R_S = \inf M_1;$$

$$R_{S \text{ обр}}, R_{\Delta h} = \sup M_2$$

і належать в обох випадках границі $\{R_{\Delta h}^*, R_S\}$ розглянутої множини $\{R_{\Delta h}, R_S\}$.

Зазначимо, що незалежно від того, чи шукається $\inf M_1$ при $\text{var } R_{\Delta h}$ або $\sup M_2$ при $\text{var } R_S$, результат буде мати вигляд сукупності кращих варіантів, що відповідають $R_{\Delta h}^*(R_S)$.

Цей результат не зміниться, якщо шукати кращі варіанти не при $R_{\Delta h} = R_{\Delta h \text{ обр}} (R_S = R_{S \text{ обр}})$, а при $R_{\Delta h} < R_{\Delta h \text{ обр}} (R_S < R_{S \text{ обр}})$. Таким чином, при обмеженнях, як у вигляді рівностей, так і у вигляді нерівностей, кращі варіанти відповідають точкам $R_{\Delta h}^*(R_S)$, що лежать на границі області обмежень.

Якщо зафіксувати $R_{\Delta h}$ відповідно деякому значенню R_S , тоді значенню $R_S + \Delta R_S (\Delta R_S > 0)$ має відповідати $R_{\Delta h} + \Delta R_{\Delta h} (\Delta R_{\Delta h} > 0)$, тому що в іншому разі рівню $R_S + \Delta R_S$ буде відповідати безумовно гірший варіант, ніж для рівня R_S . При $S > S_{\max}$ (збільшення зони дії водомірного поста) починається область функціональної нездійсненності [13, 24].

Залежність $R_{\Delta h}^*(R_S)$ у загальному випадку має конкретний вигляд і положення на площині визначається значеннями $K(U)$. Очевидно, чим значніший вплив середовища, що заважає, й жорсткіші обмеження, обумовлені вектором параметрів K , тим нижче розташована крива $R_{\Delta h}^*(R_S)$. Якщо зафіксувати параметри K й U на граничному рівні, то визначиться $R_{\Delta h}(R_S) = \inf R_{\Delta h}^*(R_S)$. Ця залежність може бути використана як нижня границя множини $\{R_{\Delta h}, R_S\}$ замість осі абсцис [24].

Наведені міркування дозволяють безпосередньо перейти до суті основних етапів методології системної оптимізації використання деталізованого банку даних глибин [13, 24]:

1. На рівні елементів підсистем P_i системи P використання деталізованого масиву глибин (рис. 1.7) формується множина припустимих їх варіантів. Це завдання може бути вирішено одним з таких способів або їх комбінаціями[24]:

а) проводиться оптимізація елементів підсистем P_i у рамках зазначеної на рис. 2.1 біфакторної $(R_{\Delta h}, R_S)$ постановки завдань оптимізації при застосуванні встановлених обмежень. При цьому, завдання оптимізації вирішується багаторазово для їх різних рівнів. Таким чином, різні рівні застосованих обмежень представляють собою в сукупності сітку в області можливого їх варіювання. Оскільки обмеження можуть бути й у вигляді рівностей, тому для вирішення завдань

$$\text{extr } R_{\Delta h} \forall R_S = R_{\text{Собр}},$$

$$\text{min } R_S \forall R_{\Delta h} = R_{\Delta h \text{ обр}}$$

застосовується використання обчислювального інтелекту, засноване на «нечіткій» логіці, тобто система наближених обчислень залежить лише від простоти відповідного рішення (підрозділ 1.4 розділу 1);

б) проводиться аналіз можливих принципів функціонування елементів підсистем P_i (рис. 1.7) у широкому діапазоні можливих їх параметрів з оцінкою показників $R_{\Delta h}$, R_S ;

в) проводиться оцінювання по показниках $R_{\Delta h}$, R_S , які можуть бути використані в підсистемах P_i .

2. У рамках біфакторного завдання оптимізації вирішується завдання оптимального вибору структури функціонування параметрів підсистем P_i зі сформованою множиною припустимих її елементів. Результатом такої оптимізації є впорядкована (домінуюча) послідовність $\Delta z = f(h_2 - h_1)$ (1.9), для кожного члена якої характерне перевищення значень $R_{\Delta h}$ за рахунок росту R_S відносно попереднього члена домінуючої послідовності.

3. Далі у рамках завдання оптимізації визначається рівень функціональної ефективності системи P . Розглядаються цільові функції математичних уявлень залежності критеріїв оптимальності від потрібних змін підсистем P_i , а як обмеження – функціональна ефективність отримання фактичних глибин для забезпечення безпеки руху всіх класів рухомих об'єктів.

Наприклад, розглянемо цільову функцію поправок до глибини з урахуванням похибки визначення місця судна $\Delta z_M = f(d, \alpha, \beta)$ у вигляді [13]

$$\Delta z_M = d \cdot \text{tg } \alpha \cdot \cos \beta, \quad . \quad (2.1)$$

де α – відома величина, розраховується з SENC, d і β – невідомі величини.

Вираз (2.1) – є складна функція, яка задана неявно (рис. 2.2).

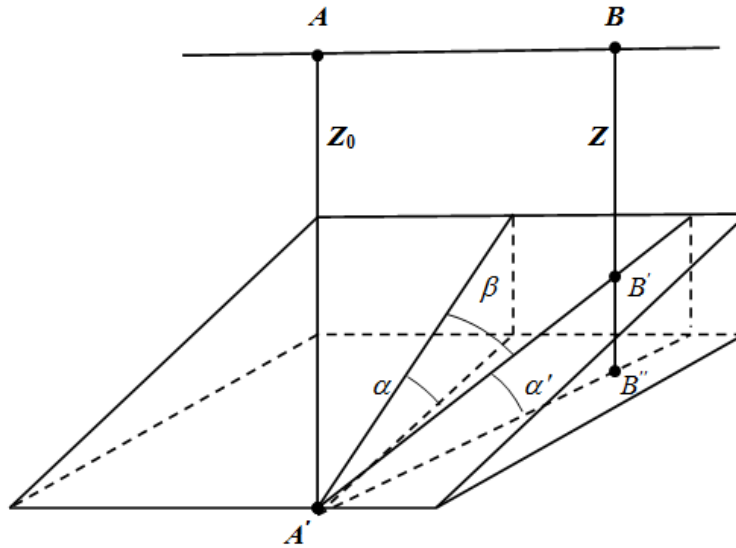


Рисунок 2.2 – Пояснення елементів цільової функції $\Delta z_M = f(d, \alpha, \beta)$

Нехай в точці A виміряна глибина $AA' = z_0$. В результаті похибки у визначенні місця судна вона буде віднесена до точки B , де фактична глибина $BB' = z$. Таким чином, в результаті похибки визначення місця судна виникає похибка у визначенні глибини. Позначимо:

d – відстань між точками A і B ($d = S / k_{3i}$);

α' – кут нахилу дна у напрямі $A'B'$;

α – максимальний кут нахилу дна;

β – кут між напрямом $A'B'$ і напрямом максимального нахилу.

З рис. 2.2 слідує:

$$\Delta z_M = B'B'' = d \cdot \operatorname{tg} \alpha';$$

$$\operatorname{tg} \alpha' = \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \beta;$$

$$\Delta z_M = d \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \beta.$$

У зв'язку з тим, що d і β носять випадковий характер, перейдемо до середніх квадратичних оцінок [13].

$$|d| = M_{\text{ОПР}},$$

де $M_{\text{ОПР}}$ – СКП визначення місця.

$$m_{z_M} = \frac{1}{\sqrt{2}} M \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad M = \sqrt{M_1^2 + M_2^2},$$

де M_1 – СКП визначення глибин;

M_2 – СКП нанесення глибин на карту.

$$m_{z_0} = \sqrt{m_z^2 + m_{z_M}^2},$$

де m_{z_0} – загальна похибка глибини, показаної на карті;

m_z – загальна похибка вимірювання глибини;

m_{z_M} – загальна похибка вимірювання глибини, пов'язана з точністю визначення місця судна.

Знайдемо екстремальні значення цільової функції за виразом (2.1) шляхом дослідження її значення в критичних точках, які визначаються рішенням диференціального рівняння [13].

$$(\Delta z_M)' = \operatorname{tg} \alpha \cdot (M_{\text{ОПР}} \cdot \cos \beta)' = \operatorname{tg} \alpha [M_{\text{ОПР}}' \cdot \cos \beta + M_{\text{ОПР}} \cdot (\cos \beta)'] .$$

$$\begin{cases} M_{\text{ОПР}}' \cdot \beta \cdot \cos \beta = 0, \\ M_{\text{ОПР}} \cdot (\cos \beta)' = 0. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} M_{\text{ОПР}}' = 0, & \beta = 90^\circ, \\ M_{\text{ОПР}} \cdot \beta \cdot (-\sin \beta) = 0, & \beta = 0. \end{cases}$$

Вважаючи відхилення точок щодо лінії максимального нахилу дна рівноімовірними, отримаємо $\beta_{\text{cp}} = 45^\circ$.

$$M_{\text{ОПР}} = m_p \sec h_{\text{cp}} \cdot \sqrt{\frac{3}{\sum \sin^2 \Delta A}} = m_p \cdot \Gamma,$$

де h_{cp} – середня кутова висота супутників; ΔA – різниця азимутів між парами супутників; m_p – СКП визначення відстані; Γ – геометричний фактор (Geometric Delution of Precision – GDOP або Horizontal Delution of Precision – HDOP).

$$\sec h_{cp} \cdot \sqrt{\frac{3}{\sum \sin^2 \Delta A}} = \Gamma.$$

Для районів річки Дніпро: $1,5 < \Gamma < 5$, тобто визначення місця здійснюється за трьома супутниками ($\Gamma \rightarrow \min$), тому що три супутника розміщені однаково низько над горизонтом, утворюючи рівносторонній трикутник ($\Delta A \approx 120^\circ$) [13].

$M_{OPP} \leq 5 \text{ м (DGPS)} \Rightarrow$ знаходимо екстремуми функції $f(\Delta z_M)$

$$(\Delta z_M)' = 0 \Rightarrow \begin{cases} M_{OPP \min} = 0, \\ M_{OPP \max} = 5 \text{ м}, \\ \beta_1 = 0^\circ, \quad \beta_2 = 90^\circ, \quad \beta_{CP} = 45^\circ, \end{cases} \quad \text{при } P = 95\%$$

Можливість вирішення цього завдання ілюструється рис. 2.3, на якому зображені залежності, що характеризують збільшення або зменшення значень множини $R_{\Delta z_M}$ залежно від рельєфу дна і точності визначення місця судна в межах $0 < M_{opp} \leq 5$; $R_{\Delta z M 2} = \inf \Delta z_{M=0} \leq R_{\Delta z M} \leq R_{\Delta z M 1} = \sup \Delta z_{M=5}$.

Області множини $R^{(2)}_{\Delta z_M} < R_{\Delta z M 2} = \inf \Delta z_{M=0}$ та $R^{(1)}_{\Delta z_M} > R_{\Delta z M 1} = \sup \Delta z_{M=5}$ є зонами функціональної нездійсненності [13, 24].

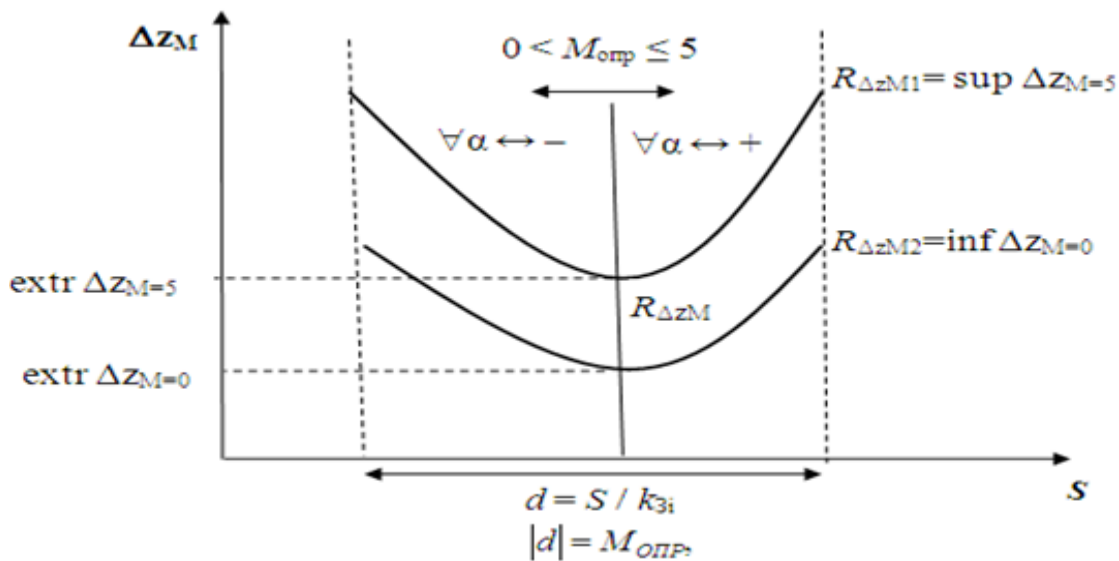


Рисунок 2.3 – Оптимізація параметрів множини $R_{\Delta z_M}$

4. Визначення доцільності використання потрібних змін та обмежень підсистем P_i здійснюється з визначених на третьому етапі значень $\text{var } E_{\Delta z} \in R_{\Delta z}$, які зіставляються з обмеженнями $\sup E_{\Delta z} \vee \inf E_{\Delta z}$.

Елементи $\text{var } E_{\Delta z}$ визначають за результатами 2-го етапу конкретну структуру, стратегію використання й параметри змін до підсистем P_i , а згідно з результатами 1-го етапу – характеристики їх елементів.

5. На заключному етапі оптимізації проводиться аналіз чутливості $\text{var } E_{\Delta z}$ до зміни параметрів елементів, каналів і підсистем P_i з метою визначення тих, удосконалення яких може призвести до істотного збільшення ефективності використання Inland ECDIS [13, 24].

Особливостями викладеної методології є подолання багатокритеріальності оптимізаційних завдань, визначення їх обсягу і якості, обґрунтування змін до підсистем P_i , зниження рівня суб'єктивізму й підвищення частки формальних прийомів при постановці й вирішенні оптимізаційних завдань, подолання ряду невизначеностей, які неминучі при використанні принципів системного підходу тощо. Найбільш специфічний характер мають методи, використовувані на другому й третьому етапах оптимізації [13].

Практичне значення запропонованої методології полягає у виборі безпечного шляху з дотриманням вимог з безпеки руху судна, що маневрує, та охорони навколишнього середовища. Сценарій формування індивідуальної смуги руху судна на екрані Inland ECDIS в залежності від його осадки полягає в наступному. На підставі автоматизованої інформації від ВП у SENC формується банк даних фактичних глибин. Після введення осадки судна з урахуванням запасу глибини під кілем формується розрахункова модель n -кутника, що моделює реальний об'єкт судноводіння в межах дії ВП. N -кутник заповнюється значеннями реальних навігаційних глибин за вирахуванням осадки судна і запасу глибини під кілем. Межа n -кутника відображається на екрані дисплея. Геометричне моделювання функціональних нелінійних задач навігації викладено в наступному підрозділі.

2.2. Геометричне моделювання функціональних нелінійних задач навігації внаслідок впливу факторів навколишнього середовища

Невизначеність об'єктів навігаційної небезпеки в районі суднового ходу пов'язана насамперед з рухомими границями, змінами рівня води в умовах критичних природних явищ. Бази даних Inland ECDIS відображають необхідні шари територіального застарілого деталізованого масиву глибин у просторі навігаційного обслуговування. Існуюча невизначеність геометричних характеристик обумовлює потребу у визначені цільової безпечної області навігації у поточній ситуації [6].

Нехай S_0 – це початкова форма геометричного об'єкта навігації (в зоні дії водомірного поста) з системою базових координат на площині XOY . Геометрична форма S_0 відрізняється від поверхневого картографічного шару SENC Inland ECDIS з реальним контуром берегів та глибин. Така розрахункова модель спрощено відображує особливості, які не враховуються в процесі розв'язку поточних задач навігації. S_0 – умовно замкнений багатокутник, що входить до робочої зони дії водомірного поста. Особлива властивість S_0 полягає у її ефективності для безпечного руху суден, оскільки дозволяє враховувати глибини та реальну осадку у поточній ситуації. S_0 може бути у пам'яті Inland ECDIS описана у вигляді [6, 13]:

$$G_0 = \langle \{S_0\}, \{m_0, m_Z\}, \{P_0\} \rangle, \quad (2.1)$$

де $\{S_0\}$ – базова модель з заданою геометричною конфігурацією багатокутника; $\{m_0, m_Z\}$ – метричні характеристики геометричного об'єкта (координати вершин, нуль глибин в абсолютній системі відліку); $\{P_0\}$ – положення системи координат ENC (x_0, y_0) відносно системи координат SENC (x_{01}, y_{01}) при різних видах встановленої орієнтації.

Вираз (2.1) містить всі необхідні дані, які передбачають використання робочої базової моделі при розв'язанні цілого класу задач навігації, включаючи геометричне розташування деталізованого масиву глибин. S_0 є верхньою гранню

об'ємної тривимірної (3D) фігури. Координата Z з координатами X , Y характеризує базову глибину границь зони дії водомірного поста. Вираз $\{m_0, m_Z\}$ складається через послідовність (x_i, y_i, z_i) , $\forall i = \overline{1, n}$ (рис. 2.4) [6,13].

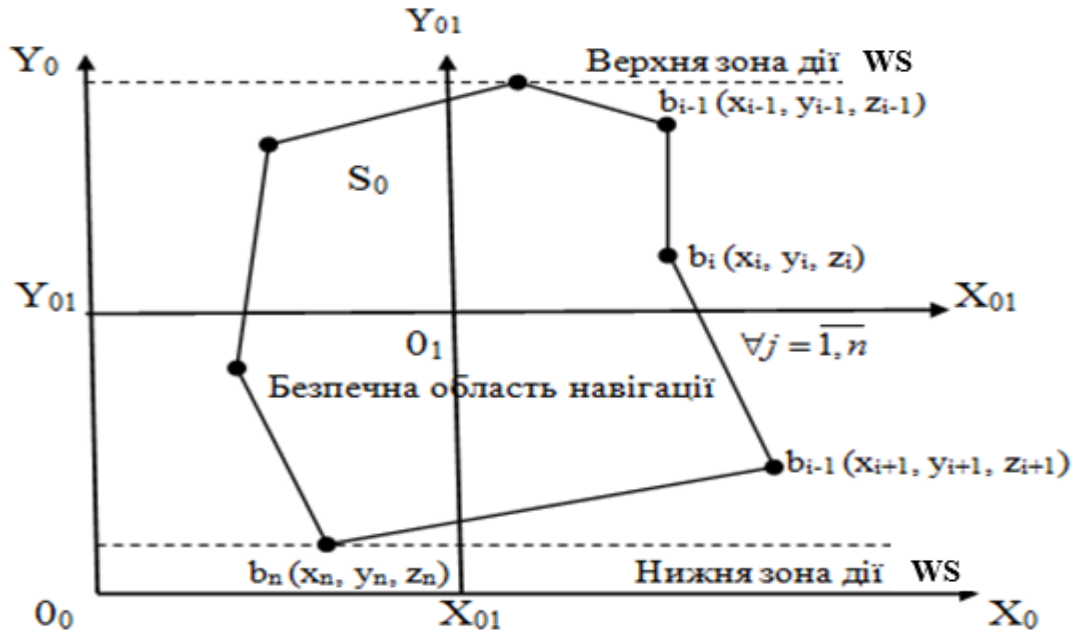


Рисунок 2.4 – Розрахункова S_0 модель n -кутника, що моделює реальний об'єкт судноводіння в межах дії WS

S_0 заповнюється значеннями реальних навігаційних глибин, що відповідають параметрам за виразом (2.1):

$$G_i = \left\langle \{S_j\}, \{m_j, m_{z_j}\}, \{P_j\} \right\rangle, \quad \forall j = \overline{1, m}. \quad (2.2)$$

Якщо вираз (2.2) відповідає фактичним глибинам з урахуванням автоматизованого введення поправок, тоді $G_0 - \sum_{i=1}^m G_j = G_g > 0$ буде на заданому часовому інтервалі T безпечною зоною плавання для суден з заданими габаритами та осадкою. $G_g(t)$ залежить від природних факторів для часу (t) відносно умовно-експлуатаційного рівня t_0 [6,13].

Під дією природних факторів у зоні дії WS змінюється навігаційна область небезпеки $S_0 \rightarrow S_{\text{НОН}}(t)$, тоді отримаємо множину для безпечної області навігації.

$$S_{\text{БОН}}(t) = S_0 - S_{\text{НОН}}(t), \text{ де } S_0 = \text{const}, S_{\text{НОН}}(t) = \text{var}.$$

Множини $S_{\text{НОН}}(t)$ і $S_{\text{БОН}}(t)$ умовно не перетинаються. Умови їх розв'язку:

$$\{S_0 = S_{\text{БОН}}(t) \cup S_{\text{НОН}}(t); S_{\text{БОН}}(t) \cap S_{\text{НОН}}(t) = 0; \forall i \in I, \forall j \in J.$$

Зона безпечного плавання в зоні дії WS формується з урахуванням геометричних позицій усіх складових множин $S_{\text{НОН}}(t)$. Навігаційні глибини з урахуванням поправок відомі на конкретний час t_{i-1} , тоді [6,13]

$$G_k(t_{i-k}) = \langle \{S_k(t_{i-1})\}, \{m_k(t_{i-1}), m_{Zk}(t_{i-1})\}, \{P_k(t_{i-1})\} \rangle.$$

Якщо в Inland ECDIS від датчиків інформації не надійшли нові дані, включаючи інформацію про нуль глибин від ВП, тоді $G_k(t_{i-1}) \equiv G_k(t_{i-1})$ незалежно від кроку $t_i - t_{i-1}$ спостереження довкілля. $\forall G_k(t) \in S_0$.

Головними геометричними параметрами безпечної області навігації (БОН) є значення метричних характеристик габаритної смуги руху. Своєчасне відображення на SENC даних про стан глибин впливає на рівень безпеки судноводіння в стислих умовах реального плавання. Висока точність знання параметрів габаритної смуги руху необхідна особливо в судноплавних каналах, підходах до річкових портів та терміналів, мілководних районах з похилим рельєфом дна. Навігаційні глибини разом з прохідними осадками суден визначаються разом з оцінками точності довірчих інтервалів похибок вимірювання первинних параметрів, включаючи дані GPS. У загальному випадку судновий хід може мати декілька безпечних областей навігації [6,13].

Запропоноване геометричне моделювання функціональних нелінійних задач навігації у наслідок впливу факторів навколишнього середовища знімає невизначеність БОН. Існуюча картографічна система Inland ECDIS стає більш точною, достовірною та адекватною.

2.3. Зняття невизначеності ситуаційної динаміки використання деталізованого банку глибин у n -мірному просторі при русі судна

Inland ECDIS у межах СДС здійснює поточну обробку даних стосовно відповідності планової і фактичної інформації щодо траєкторії руху, глибин у єдиному інформаційному просторі, визначеному SENC. Можливість відображення реальної ситуаційної динаміки використання деталізованого банку глибин при русі судна описуємо у вигляді диференціально-інтегральних рівнянь. Формалізовані елементи з логіко-динамічними властивостями зображені на рис. 2.5 [6,13].

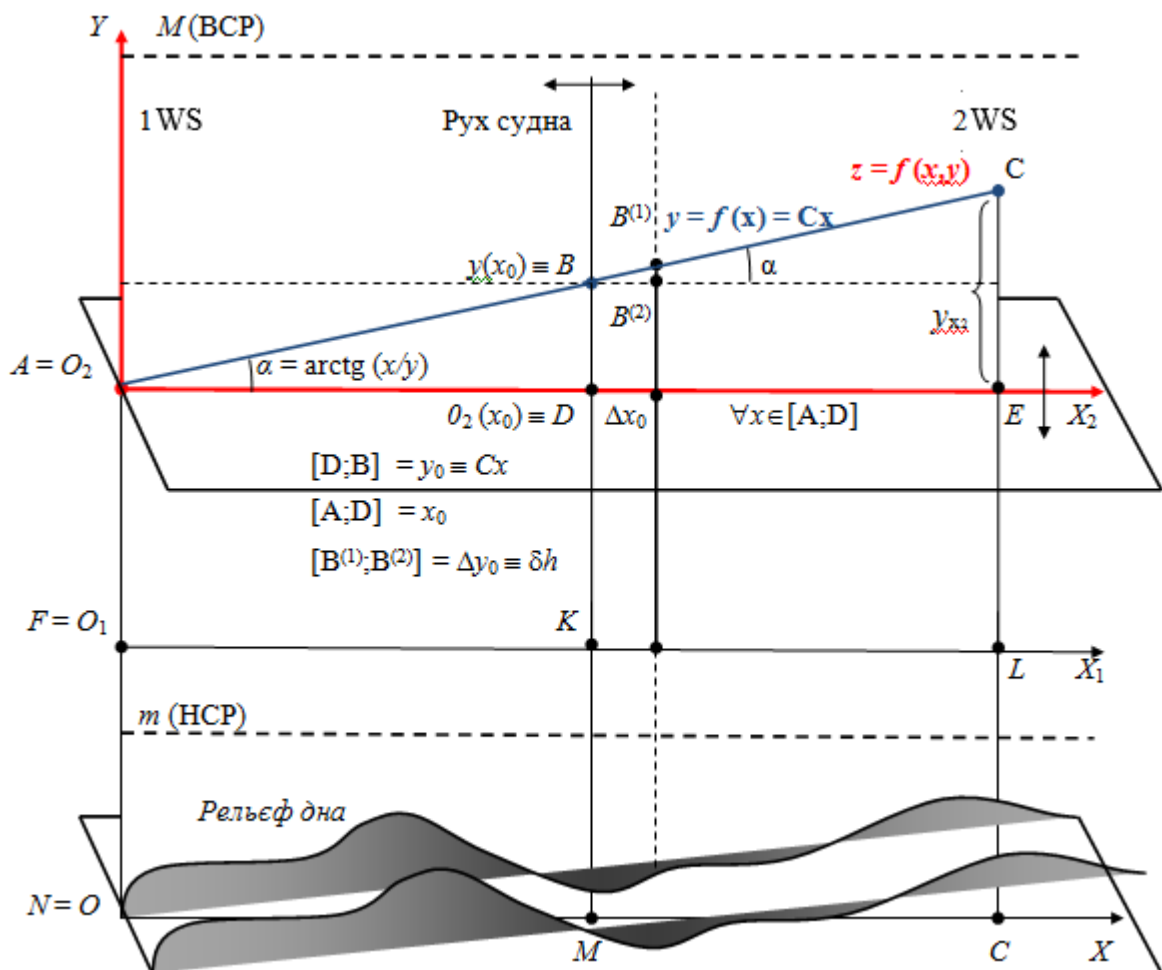


Рисунок 2.5 – Логіко-динамічні властивості використання деталізованого банку глибин у системі координат X_2O_2Y

Поведінка цілісної моделі S визначається як послідовність станів у неперервному інтервалі системного часу. Кожний з можливих експлуатаційних станів має поточну тривалість часу

$$t_{0i} \leq t_i \leq t_{0j} + T_i. \quad (2.3)$$

Зміна ситуацій $S_i \rightarrow S_j$ за стислий перехідний момент часу визначається як дискретний процес відповідно до логіко-динамічного алгоритму переходу згідно з фіксованими умовами зміни поведінки.

На рис. 2.5 зображені висотні системи координат:

XOY – висотна система координат SENC в абсолютній системі висот;

X_1O_1Y – висотна система координат відносно нуля глибин WS. $H_0 \in y(0) = 0$;

X_2O_2Y – висотна система координат відносно рівня води 1WS. $h_1 \in y(0)=0$;

M (BCP) – верхній судноплавний рівень;

m (HCP) – нижній судноплавний рівень;

$y = f(x)$ – функція ($n = 1$) зміни рівня води у системі координат X_2O_2Y ;

$z = f(x, y)$ – функція ($n = 2$) зміни рівня води у системі координат X_2O_2Y .

$$\{ \forall R_{(X_2O_2Y)} \in R_{(X_1O_1Y)} : R_{(X_1O_1Y)} \in R_{(XOY)} \},$$

$$\forall R_{(X_2O_2Y)} = R_{(X_1O_1Y)} \cap R_{(XOY)}, \quad \exists ! R_{(XOY)} \forall \text{ ВП.}$$

$$\left(\bar{Y} = \sup \{ R_{(XOY)} \} \right) \stackrel{\text{def}}{\equiv} \left(\exists M \in R \right) \left(\forall Y \in \{ R_{(XOY)} \} : Y \leq M \right),$$

$$\left(\underline{Y} = \inf \{ R_{XOE} \} \right) \stackrel{\text{def}}{\equiv} \left(\exists m \in R \right) \left(\forall Y \in \{ R_{XOE} \} : Y \geq m \right).$$

Розв'язання задачі щодо зняття невизначеності ситуаційної динаміки використання деталізованого банку для автоматизації засобів електронно-картографічної навігації потребувало її декомпозиції на ряд окремих кроків і визначення відповідних математичних прийомів для їх вирішення [6, 13].

Запропонована задача включає чотири кроки [6,13].

Крок 1. Для знаходження поправок до вимірних глибин, що змінюються за часом t_i , спочатку доцільно використовувати рухоми відносну систему координат X_2O_2Y відносно рівня води 1WS (рис. 2.5) за умови:

- $h_1 \in y(0) = 0, y_{x_2} \geq 0$, тобто $O_2 \in X_2O_2Y$ – миттєвий рівень води по IWS на осі суднового ходу;
- зміни по вісі абсцис $X_2 \equiv x(t) \Leftrightarrow y(t)$ є функцією часу;
- положення точок на $y = f(x)$ залежать від різниці показів миттєвих рівнів води WS і положення судна у зоні їх дії.

Графічна функція $y = f(x) = F(x(t))$, яка зображена стосовно різниці миттєвих рівнів води WS за час t_i , є:

- складною функцією від t , причому за правилом диференціювання складної функції $(x(t))' = x'(t)'$;
- неявною функцією, що задана співвідношенням $F(x,y) = 0$ при $F(x, f(x)) \equiv 0$.

Слід зазначити, що у системі координат X_2O_2Y x і y задані функціями від змінної t : $x = x(t)$, $y = y(t)$, тобто вираз $y = y(x)$ є параметрично заданою функцією в інтервалі $x \in (O_2; E)$. У цьому інтервалі рівняння $x = x(t)$ можна виразити у вигляді $t = t(x)$ і визначити функцію $y = y(t(x)) = y(x)$.

З огляду на вищезазначене вираз $y = f(x)$ можна представити у вигляді диференціального рівняння першого порядку [6,13].

$$x \cdot y' = y \quad (2.4)$$

Обчислимо загальний інтеграл [115]:

$$y' = \frac{dy}{dx} \Rightarrow x \cdot \frac{dy}{dx} = y \Rightarrow \frac{dy}{y} = \frac{dx}{x} \Rightarrow \int \frac{dy}{y} = \int \frac{dx}{x} \Rightarrow \ln|y| = \ln|x| + C \Rightarrow \ln|y| = \ln|x| + \ln|C| .$$

Далі

$$\ln a + \ln b = \ln(a \cdot b) \Rightarrow \ln|y| = \ln|Cx| .$$

Загальне вирішення функції представлено у явному вигляді:

$$y = Cx. \quad (2.5),$$

У системі координат X_2O_2Y (рис. 2.6) [6,13]:

$C = const$, за умови $|y_n| \leq \varepsilon / 2 \vee C \neq const$, за умови $|y_n| > \varepsilon / 2$.

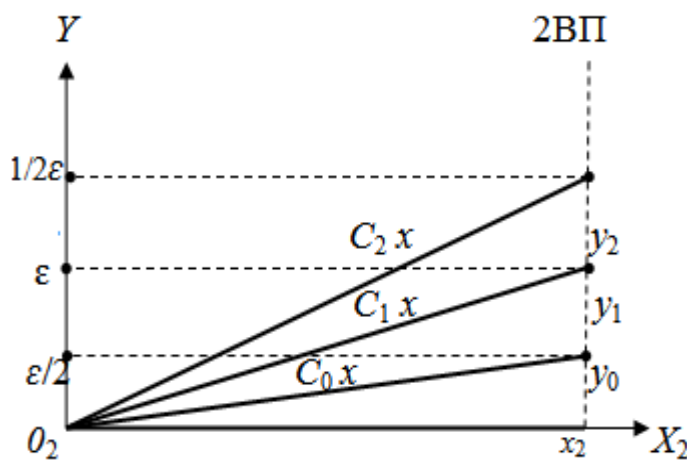


Рисунок 2.6 – Графічне пояснення коефіцієнта C

$$C_0x \neq C_1x \neq C_2x \neq \dots C_nx.$$

$$y_0 = y_1 = y_2 = \dots y_n = \varepsilon/2$$

$$C_0 = 0 \Rightarrow C = 0 \Rightarrow y = 0.$$

$$\forall C_n \exists ! C \in \{C_0, C_1, C_2 \dots C_n\}$$

$$C_0 = const, \text{ за умови } |y_0| \leq \varepsilon / 2$$

$$C_1 = const, \text{ за умови } |y_1| \leq \varepsilon / 2$$

$$C_2 = const, \text{ за умови } |y_2| \leq \varepsilon / 2$$

...

$$C_n = const, \text{ за умови } |y_n| \leq \varepsilon / 2$$

Надаючи C різні значення $\{C_0, C_1, C_2 \dots C_n\}$, можна отримати в SENC достатню послідовність окремих рішень диференціального рівняння для відображення деталізованого банку глибин при русі судна. Таку множину функцій можна реалізувати в Inland ECDIS за допомогою матричного обчислення.

У неперервному інтервалі системного часу (2.3) у межах дискретного процесу (1.3) згідно з фіксованими умовами поведінки однієї змінної x отримуємо: (2.5) $\vdash C = const \Rightarrow z_i - z_j = const$ при обмеженнях по (1.9) і табл. 1.2.

Крок 2. Далі знову використовуємо систему координат X_2O_2Y (рис. 2.5). Слід зазначити, що на практиці різниця показів рівнів води по WS $z_i - z_j \neq const$. З урахуванням того, що прирости змін функції є двома незалежними змінними (рух судна і різниця показів ВП), то зміни точок по осях абсцис і ординат описуються функцією двох незалежних змінних $z = f(x, y)$ з фіксованої декартової системою координат [6,13].

Припустимо, що її аргументи x і y отримують прирости Δx і Δy , тоді функція $z = f(x, y)$ отримує повний приріст

$$\Delta z = f(x + \Delta x, y + \Delta y) - f(x, y).$$

Геометрично повний приріст Δz дорівнює збільшенню аплікати графіка функції $f(x, y)$ при переході від точки $B(x, y)$ у точку $B^{(1)}(x + \Delta x, y + \Delta y)$. Функція $z = f(x, y)$ є диференційованою в точці $B(x, y)$, так як її повний приріст Δz можна представити у вигляді [6,13,115]

$$\Delta z = B_i(x, y)\Delta x + B_j(x, y)\Delta y + 0(\rho),$$

де $\rho = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$, $0(\rho)$ – нескінченно мала величина вищого порядку, ніж ρ .

Враховуючи, що $z = f(x, y)$ диференційована в цій точці, тоді за повний диференціал приймемо головну частину її повного збільшення

$$dz = B_i(x, y)\Delta x + B_j(x, y)\Delta y.$$

$$\begin{cases} z = f(x, y), \\ dx = \Delta x, \\ dy = \Delta y \end{cases} \Rightarrow \Delta z \approx dz + f'_x(x, y)dx + f'_y(x, y)dy,$$

$$f(x + \Delta x, y + \Delta y) \approx f(x, y) + dz = f(x, y) + f'_x(x, y)dx + f'_y(x, y)dy. \quad (2.6)$$

Функція $z = f(x, y)$ у системі координат X_2O_2Y є складна функція, тоді [6,13]

$$\begin{cases} \begin{cases} x = \varphi(t), \\ y = \psi(t) \end{cases} \Rightarrow z = f(x(t), \psi(t)) \Rightarrow \frac{dz}{dt} = \frac{\partial z}{\partial x} \cdot \frac{dx}{dt} + \frac{\partial z}{\partial y} \cdot \frac{dy}{dt} \Rightarrow \\ \Rightarrow y = \varphi(x) \Rightarrow z = f(x, \varphi(x)) \Rightarrow \frac{dz}{dx} = \frac{\partial z}{\partial x} + \frac{\partial z}{\partial y} \cdot \frac{dy}{dx}. \end{cases} \quad (2.7)$$

Використовуючи властивість інваріантності формули повного диференціала, отримуємо

$$dz = \frac{\partial z}{\partial x} dx + \frac{\partial z}{\partial y} dy. \quad (2.8)$$

Таким чином, виходячи з виразів $z = f(x, y)$, (2.5), (2.8) і рис. 2.5, 2.6 загальне рішення диференціального рівняння першого порядку з двома змінними ($n = 2$) матиме вигляд [6,13]:

$$X_2O_2Y \Rightarrow z = Cx(t) + k\delta h(t)x(t) = \overbrace{k(C + \delta h(t))}^{C(\text{рис.2.6})} \cdot x(t), \quad \delta h_i \equiv \delta(h_2 - h_1), \quad (2.9)$$

де δh_i – миттєва різниця рівнів води по WS у системі координат X_2O_2Y .

$$k = \begin{cases} 0, & \text{при } |\Delta h_i| \leq \frac{\varepsilon}{2}; \\ \text{round} \frac{2 \cdot |\Delta h_i|}{\varepsilon}, & \text{при } |\Delta h_i| > \frac{\varepsilon}{2}, \quad m(\text{HCP}) < k \cdot (C_i + \Delta h_i) x_i < M(\text{BCP}). \end{cases}$$

Вираз (2.9) також виводиться при використанні окремих похідних першого порядку функції двох незалежних змінних $z = \text{arctg } x/y$ [6,13,115]:

$$\frac{\partial z}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\text{arctg} \frac{x}{y} \right) = \frac{y}{x^2 + y^2}.$$

$$\frac{\partial z}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} \left(\text{arctg} \frac{x}{y} \right) = \frac{x}{x^2 + y^2}.$$

Крок 3. Перейдемо до знаходження поправок h до вимірних глибин, що змінюються за часом t_i , у відносній системі координат X_1O_1Y (рис. 2.7) [6,13].

Центр O_1 системи координат X_1O_1Y є нуль глибин 1WS на осі суднового ходу. Причому нулі глибин 1WS і 2WS співпадають. Положення рухомої системи координат X_2O_2Y змінюється відносно X_1O_1Y тільки по осі ординат Y . У даному випадку ($n = 3$) функція трьох змінних $h = f(x, y, z)$ з фіксованою декартовою системою координат належить до точок площини X_1O_1Y . Аналогічно до кроків 1, 2 визначимо загальне рішення функції $h = f(x, y, z)$:

$$X_1O_1Y \Rightarrow h = \overbrace{(C + k\delta h(t))}^{C(\text{рис.2.6})} \cdot x(t) + h_1(t), \quad (2.10)$$

де h_1 – миттєвий рівень води по 1WS у системі координат X_1O_1Y ;

δh_i – миттєва різниця рівнів води по WS у системі координат X_1O_1Y ;

$$\delta h_i = (X_2O_2Y \cap X_1O_1Y) : (X_2O_2Y \subseteq X_1O_1Y).$$

Крок 4. Розглянемо поведінку функції трьох змінних $h = f(x, y, z)$ у системі координат карти XOY (рис. 2.7). Обов'язкові умови, які повинні дотримуватися:

– висотна основа ENC в абсолютній системі висот повинна бути **єдиною**. Невизначеності, що виникають, детальніше викладені у підрозділі 1.3, тобто [6,13]:

$$dom \forall R \in Y(0) = const ;$$

- система координат X_1O_1Y нерухома відносно $XOY \supseteq X_1O_1Y$;
- $dom (h=f(x, y, z)) \in X_1O_1Y \wedge XOY$;
- $\bar{Y} = X_1O_1Y \cap XOY, \quad \underline{Y} = X_1O_1Y \cap XOY, \quad \text{при умовах} \quad Y \leq \bar{Y}, Y \geq \underline{Y}.$

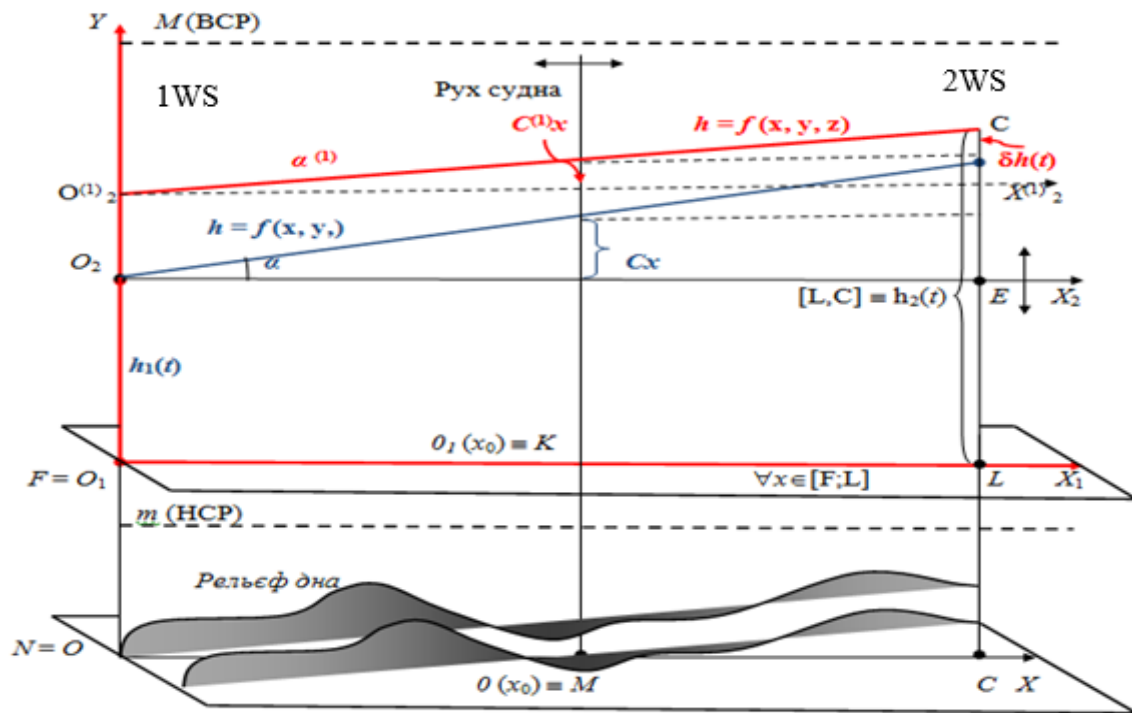


Рисунок 2.7 – Логіко-динамічні властивості використання деталізованого банку глибин у системах координат X_1O_1Y і XOY

Враховуючи вищевикладене, використовуючи вирази (2.10) і встановлені обмеження $0 < M_{опр} \leq 5$ (підрозділ 2.1) визначаємо формулу для усунення невизначеності ситуаційної динаміки використання деталізованого банку глибин

$$XOY \Rightarrow h(t) = k \overbrace{(C + \delta h(t))}^{C(рис.2.6)} \cdot x(t) + h_1(t), \quad (2.11)$$

Вираз (2.11) визначає диференціальні поправки до вимірних глибин і може служити основою для їх автоматизованого визначення [6,13].

2.4. Інтелектуальна обробка потоку даних від водомірних постів за символно-формалізованими перетвореннями Лапласа при русі судна

Слід зазначити, що існуючі правила перетворення Фур'є можна застосовувати до функцій часу, що абсолютно інтегровані у нескінченних межах. У нашому випадку складна функція трьох змінних $h = f(x, y, z)$ і вираз (2.11) не є абсолютно інтегрованими, тому що вони є ступінчастими функціями і мають перехідні процеси з моменту часу $t = 0$. Таким чином, обробка потоку даних від водомірних постів здійснювалася за символно-формалізованими перетвореннями Лапласа, які не мають таких обмежень.

Перетворення за Лапласом можна розглядати як узагальнене перетворення Фур'є. У перетворенні за Лапласом кожній функції часу $f(t)$ відповідає функція нової змінної. Дане перетворення є функцією комплексної змінної p , яка має вигляд [13,47]:

$$p = s + i\sigma \quad (2.12)$$

де $a = s$ – дійсна частина;

$b = i\sigma$ – уявна частина комплексної змінної.

На відміну від перетворення Фур'є, оскільки перехідні процеси розглядаються з моменту часу $t = 0$, одностороннє перетворення за Лапласом визначається інтегральним виразом:

$$f(t) \xrightarrow{L} F(p) \Rightarrow F(p) = \int_0^{\infty} f(t) \cdot e^{-pt} dt. \quad (2.13)$$

де $f(t)$ – оригінал, $F(p)$ – зображення.

Оригінал $f(t)$ для виразу (2.11) задовольняє таким трьом умовам [13]:

$f(t) \equiv 0$, для $t < 0$, тому що параметр t є час, а для вирішення рівнянь (2.11), (2.13) повинні бути задані початкові умови;

$f(t)$ є безперервно-диференційованою функцією на осі $t > 0$;

$f(t)$ зростає не швидше показової функції, тобто $|f(t)| < e^{-ht}$.

У таблиці 2.1 наведені значення дрібно-раціональних зображень за Лапласом, що використані для перетворення функції часу (2.11). Такий шлях знаходження спектральних функцій за Лапласом є найбільш зручним, оскільки використовується таблиця оригіналів і зображень, що дозволяє замінити систему інтегрально-диференціальних рівнянь більш простими алгебраїчними рівняннями.

Таблиця 2.1 – Значення оригіналів і зображень за Лапласом [47]

Оригінал	Зображення
$\delta_0(t)$	1
$\delta(t)$	$\frac{1}{p}$
t	$\frac{1}{p^2}$
e^{-at}	$\frac{1}{p+a}$
$t e^{-at}$	$\frac{1}{(p+a)^2}$
$\frac{1}{b-a}(e^{-at} - e^{-bt})$	$\frac{1}{(p+a) \cdot (p+b)}$

Перейдемо до властивостей перетворення за Лапласом для використання в обробці потоку даних від водомірних постів при русі судна [13,47].

1. *Однозначність потоку даних.* Існує однозначна відповідність між оригіналом і зображенням, тобто функції $f(t)$ відповідає єдине зображення $F(p)$ і навпаки. Заміною функції часу зображеннями вирішується задача в змінній області.

2. *Лінійність потоку даних.* У нашому випадку за правилом Лапласа функції $f(t)$ відповідає сума зображень $k_1F_1(p)$, $k_2F_2(p)$, тобто

$$L\{k_1f_1(t)+k_2f_2(t)\}=k_1F_1(p)+k_2F_2(p) \quad (2.14)$$

3. *Диференціювання та інтегрування в тимчасовій області.*

$$f(t) \xrightarrow{L} F(p) \Rightarrow L\left\{\frac{df(t)}{dt}\right\} = pF(p) - f(0). \quad (2.15)$$

З виразу (2.15) випливає, що при диференціюванні функції часу $f(t)$, зображення множиться на p . Інтегруванню функції часу $f(t)$ відповідає поділ зображення на p .

$$L\left\{\int f(t)dt\right\} = \frac{1}{p}F(p) + \frac{f^{(-1)}(0)}{p}, \quad (2.16)$$

де $f(0)$ – початкові умови руху судна в зоні дії ВП ($t = 0 \Rightarrow h = h_1 \vee h = h_2$).

4. *Зміна масштабу* через не узгодженість даних, що надходять від водомірних постів, з масштабом SENC. Зображення функції $f(t/\mu)$ у даному випадку має вигляд

$$L\left\{f\left(\frac{t}{\mu}\right)\right\} = \mu \cdot F(\mu \cdot p) \vee L\left\{f\left(\frac{t}{\mu}\right)\right\} = \int_0^t f\left(\frac{t}{\mu}\right) \cdot e^{-pt} dt. \quad (2.17)$$

Введемо змінну $\eta = t/\mu$, тоді

$$L\{f(\eta)\} = \int_0^t f(\eta) \cdot e^{-\mu h \eta} d(\mu \eta) = \mu F(\mu \cdot p). \quad (2.18)$$

(2.18) \rightarrow при $\mu > 1 \Rightarrow f(t)$ скорочується по осі часу у μ разів, аргумент і ордината зображення збільшуються в μ разів.

5. *Зсув у тимчасовій області* на час τ через не узгодженість синхронізованого функціонування системи (ВП, Inland ECDIS).

$$L\{f(t - \tau)\} = e^{-p\tau} F(p). \quad (2.19)$$

Введемо змінну $t_1 = t - \tau$, тоді

$$L\{f(t)\} = \int_0^{\infty} f(t_1) \cdot e^{-p(t_1 + \tau)} dt_1 = e^{-p\tau} F(p). \quad (2.20)$$

У даному випадку зсув $f(t)$ на τ відповідає множенню зображення на експоненціальну функцію $e^{-p\tau}$. Передбачається, що випадки порушення

синхронізації по t відносно системи єдиного часу, як правило, будуть мати нетривіальний і випадковий характер.

б. Зсув комплексної змінної на p_0 через зміни положення нуля глибин h_0 WS відносно абсолютної системи відліку вертикальних координат.

$$p + p_0 \Rightarrow L\{e^{-p_0 t} f(t)\} = F(p + p_0), \quad (2.21)$$

тобто $p + p_0 \Rightarrow$ множення оригіналу на експоненціальну функцію $e^{-h_0 t}$.

Обов'язкова умова: у разі невідповідності висотних основ положення нуля глибин WS відносно SENC повинна спрацювати аварійна сигналізація.

Таким чином [13,47]

$$f(t) \xrightarrow{L} F(p) = \begin{cases} p \cdot F(p) - f(0), & \text{за умовою (2.15),} \\ \mu \cdot F(\mu \cdot p), & \text{за умовою (2.17),} \\ e^{-p\tau} F(p), & \text{за умовою (2.19),} \\ F(p + p_0) = \int_0^{\infty} f(t) \cdot e^{-(p+p_0)t} dt, & \text{за умовою (2.21).} \end{cases} \quad (2.22)$$

Вираз (2.11) представимо у вигляді двох незалежних змінних, пов'язаних часом t

$$f(t) = f_1(t) + f_2(t) \quad (2.23)$$

Перетворення першої складової $f_1(t)$. Використовуючи вираз лінійності потоку даних (2.14), вирішимо систему лінійних рівнянь з постійними коефіцієнтами із застосуванням операційного методу [13, 47].

$$\frac{d\vec{x}}{dt} = A\vec{y} + \vec{f}(t), \quad \vec{y} = \begin{Bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{Bmatrix}, \quad \vec{f}(t) = \begin{Bmatrix} f_1 \\ \vdots \\ f_n \end{Bmatrix}, \quad A = \begin{Bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{Bmatrix}, \quad 0 \leq t \leq +\infty,$$

де A – матриця $n \times n$ стану об'єкта (дінамична матриця об'єкта).

Задаємо початкові дані у вигляді вектора $\bar{y}(0) = \bar{q}$, $\bar{q} = \begin{pmatrix} q_1 \\ \vdots \\ q_n \end{pmatrix}$.

Припустимо $f_k(t)$ –оригінал (функція кінцевого порядку зростання), тоді

$$f_k(t) \xrightarrow{L} \tilde{f}_k(p) \Rightarrow y_k(t), y'_k(t) - \text{оригінали}.$$

$$y_k(t) \xrightarrow{L} \tilde{y}_k(p), \quad y'_k(t) \xrightarrow{L} p \cdot \tilde{y}_k(p) - y_k(0) = p \cdot \tilde{y}_k(p) - q_k.$$

$$p \cdot \tilde{y}_k(p) - q_k = a_{k_1} \tilde{y}_1(p) + a_{k_2} \tilde{y}_2(p) + \dots + a_{k_n} \tilde{y}_n(p) + \tilde{f}_k(p), \quad k = 1, 2 \dots n.$$

Введемо позначення зображень, зібраних в єдиний стовпець [13,47]

$$\vec{\tilde{y}}(p) = \begin{pmatrix} \tilde{y}_1 \\ \vdots \\ \tilde{y}_n \end{pmatrix}, \quad \vec{\tilde{f}}(p) = \begin{pmatrix} \tilde{f}_1(p) \\ \vdots \\ \tilde{f}_n(p) \end{pmatrix}, \quad \text{тоді}$$

$$p \cdot \vec{\tilde{y}}(p) - \bar{q} = A \cdot \vec{\tilde{y}}(p) + \vec{\tilde{f}}(p), \quad \vec{\tilde{y}}(p) = (p \cdot E - A)^{-1} \cdot (\vec{\tilde{f}}(p) + \bar{q}),$$

де E – одинична матриця.

По $\tilde{y}_k(p)$ знаходимо $y_k(t)$

$$y_k(t) = L\{\tilde{y}_k(p)\} = (p \cdot E - A)^{-1} \cdot (\vec{\tilde{f}}(p) + \bar{q}). \quad (2.24)$$

Вираз (2.24) є матрична передаточна функція потоку даних від водомірних постів. Матриця $(pE - A)$ – характеристична матриця для матриці стану A . Її визначник $\det(pE - A)$ визначає степеневий поліном змінної Лапласа p порядку n .

$$y_k(t) = \frac{1}{\det(pE - A)} S(p) \cdot B, \quad B = x. \quad (2.25)$$

де $S(p)$ – adj (союзна матриця) для $(pE - A)$ з урахуванням заданого вектора.

$$S(p) = \|\tilde{f}_{n,1}\| + \|q_{n,1}\|. \quad (2.26)$$

Матрична передавальна функція $y_k(t)$ являє собою прямокутну матрицю розмірності $n \times m$. Кожен елемент цієї матриці – є скалярна передавальна функція від входу до виходу (рис. 2.8). Усі скалярні передавальні функції мають один і той же характеристичний поліном. Тому, аналіз потоку даних від водомірних постів зводиться до аналізу коренів цього полінома [13,47].

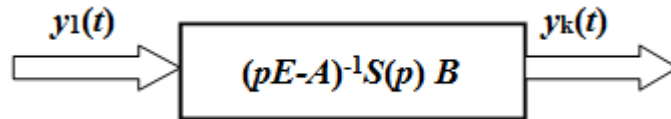


Рис. 2.8. Скалярна передаточна функція від входу до виходу

Перетворення другої складової $f_2(t)$ [13].

$$f_2(t) \xrightarrow{L} F_2(p) \Rightarrow F_2(p) = \int_0^{\infty} f_2(t) \cdot e^{-pt} dt = \int_0^{\infty} (y_{01WS} + \delta y_{01WS}(t)) \cdot e^{-pt} dt = y_{01WS} \int_0^{\infty} e^{-pt} dt + \int_0^{\infty} \delta y_{01WS}(t) dt.$$

$$e^{-pt} \Big|_{t=0}^{0+\infty} = 1, \quad y_{01WS} \int_0^{0+\infty} e^{-pt} dt = y_{01WS} + h_{10}, \quad \int_0^{\infty} \delta y_{01WS}(t) dt \equiv \|(\delta y_{01WS})_{i,1}\|, \quad h_{10} = h_{20} \cdot y_{01WS} = y_{02WS}.$$

$$f_2(t) = y_{01WS} + h_{10} + \|(\delta y_{01WS})_{i,1}\|, \quad (2.27)$$

де y_{01WS} – нуль глибин 1WS. $y_{01WS} = y_{02WS}$

δy_{01WS} – миттєвий рівень води відносно y_{01WS} ,

$\|(\delta y_{01WS})_{i,1}\|$ – матриця-стовпець змін δy_{01WS} ,

h_{10} – можливі зміни y_{01WS} відносно абсолютної системи координат.

$h_{10} = h_{20} = \text{const.}$

Далі одержуємо повний вираз для отримання диференціальних поправок $h(t)$ до виміряних глибин, які позначені на SENC [12, 13].

$$h(t) = \underbrace{\frac{1}{\det(pE - A)} S(p) \cdot B}_{(C)_{i,j}} + \underbrace{y_{01BWS} + h_{10}}_{\text{const}} + \|(\delta y_{01WS})_{i,1}\|. \quad (2.28)$$

Вираз (2.28) містить:

– матрицю $(C)_{i,j}$ зі значенням змін миттєвого рівня води відносно 2WS;

- матрицю $n \times m$ місця знаходження судна B за даними, що зняті з ENC;
- постійну складову, що дорівнює нулю глибин $h_{01WS} = h_{02WS}$;
- постійну складову, що дорівнює можливим змінам нуля глибин відносно абсолютної системи координат $h_{10} = h_{20}$;
- матрицю-стовпець миттєвого рівня води відносно 1WS.

Таким чином, з урахуванням ефективності функціонування берегової інфраструктури і Inland ECDIS, розподіл функцій для автоматизованого отримання диференціальних поправок до виміряних глибин, які позначені на SENC, полягає в наступному (рис. 2.9):

від WS надходять дані, що характеризуються виразом (ВП id WS)

$$y_{1ВП} = f(h_{01ВП}, \delta y_{01ВП}), \quad y_{2ВП} = f(h_{02ВП}, \delta y_{02ВП}), \quad (2,29)$$

в SENC Inland ECDIS дані виразу (2.29) \rightarrow (2.28).

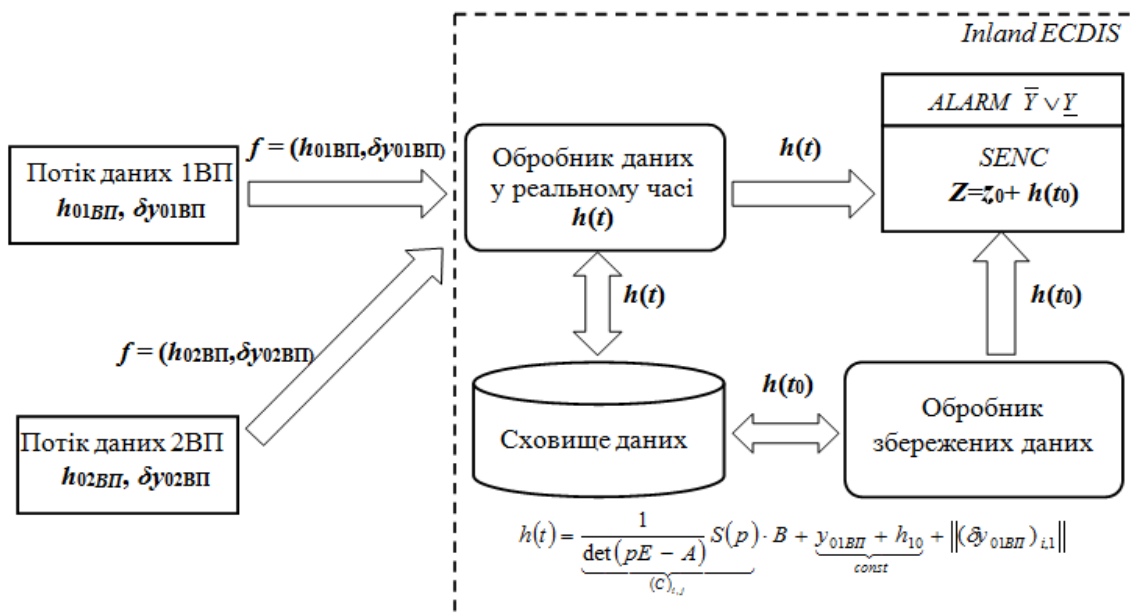


Рисунок 2.9 – Концептуальна модель системної архітектури отримання диференціальних поправок під час обробки потоку даних від двох WS

2.5. Контекстно-орієнтований керований підхід під час використання ансамблю пошукових агентів в інтелектуальній обробці потоків даних від водомірних постів

Запропонований підхід прийняття рішення в інтелектуальній обробці потоків даних від водомірних постів вимагає використовувати не тільки особливості дійсності, які є найважливішими для конкретної ситуації прийняття рішень, а й використовувати різні аспекти прийняття рішень, що можуть базуватися не тільки на окремій ситуації (предметній області), а й на деякій сукупності проблемних областей. Область прийняття рішень у даному випадку є багаторівневою структурою, яка включає область проблем, область моделей, область методу та область реалізацій. Для використання цих особливостей процесу прийняття рішень використовуємо методологію розробки системи підтримки прийняття рішень (СППР), основою якої є контекст як засіб інтеграції методів системного та ситуаційного аналізу. Тобто мається на увазі інформація, яка може бути використана або характеризує процес розв'язання проблемної задачі [14]. Тут застосування контексту визначається як конструкція, яка складається з понять у межах відповідних контекстних областей.

Запропоновану контекстну структуру, що складається з контекстних понять, які пов'язані між собою через контекстні відношення, будемо використовувати, щоб визначити сутності у межах контекстів. На підставі виявлених властивостей контексту і задач, що виникають при використанні контексту, сформулюємо наступні вимоги до управління контекстом. По-перше, контекст описаний стандартизованим способом. По-друге, під час представлення знань процесу прийняття рішень дотримуватимемося операцій, що необхідні для представлення контексту та управління ним. Це дозволить отримати релевантну, реальну та доступну інформацію для розв'язання конкретної задачі або для розуміння поточної ситуації.

Реалізація контекстно-орієнтованого підходу в інтелектуальній обробці потоків даних від водомірних постів полягає у наступному [13,14].

1. Загальним підходом для всіх варіантів є те, що на підставі виразу (1.9) та висновків підрозділу 2.1 $(\Delta z_M)' = 0 \Rightarrow M_{\text{ОПР}} \leq 5$ м (поправка до глибини Δz_M з урахуванням похибки визначення місця $M_{\text{ОПР}}$). Звідси слідує, що області множини

$$R_{\Delta z_{M2}} = \inf \Delta z_{M=0} \leq R_{\Delta z_M} \leq R_{\Delta z_{M1}} = \sup \Delta z_{M=5}$$

є зонами функціональної здійсненності.

Це дає змогу зробити висновок, що значення $M_{\text{ОПР}} \leq 5$ м можна отримати використовуючи візуальний спосіб визначення місця судна або режим DGPS, що не є достатньо ефективним (вплив метеорологічних умов, перешкоди від багатьох наземних радіоджерел, а також від магнітних бур, екранування сигналів, велика вартість обладнання та обслуговування берегової інфраструктури та інше), тоді як визначення координат рухомого об'єкта за допомогою двох рознесених приймачів GPS дозволяє усунути зазначені недоліки [13].

Варто також зазначити, що знання розташування тільки центру мас рухомого об'єкта стає недостатнім, наприклад, при маневруванні в обмежених акваторіях або русі судна по каналу. У таких випадках для судноводія є важливим знання дійсного місця розташування, наприклад, контурних точок об'єкта. Для судна, як твердого тіла, досить знати положення тільки двох точок, щоб визначити положення будь-якої точки. При використанні двох рознесених приймачів GPS ми отримуємо інформацію про місцезнаходження двох точок об'єкта, розташованих на відомій відстані одна від одної. У цьому випадку виникає необхідність оцінки достовірності інформації про стан обраних точок об'єкта з метою її подальшого використання при побудові траєкторії руху об'єкта або зони його навігаційної безпеки. Оскільки відстань між приймачами відома з високою точністю (наприклад, вони рознесені по краях судна по довжині), то обчислену відстань між ними можна порівнювати з дійсним значенням за отриманими координатами. Для оцінки ступеня достовірності координат, отриманих одночасно від двох рознесених приймачів GPS, слід розрахувати

довірчий інтервал із заданою надійністю, і потім використовувати межі інтервалу для визначення грубих помилок у визначенні координат на об'єкті, що рухається. Для усунення постійної помилки у визначенні місця використовується навігаційний режим роботи Inland ECDIS з накладенням радарного відображення.

Відповідно до цього пояснимо принцип визначення b_{GPS} при використанні рознесених в ніс і корму антен GPS (рис. 2.10) [33].

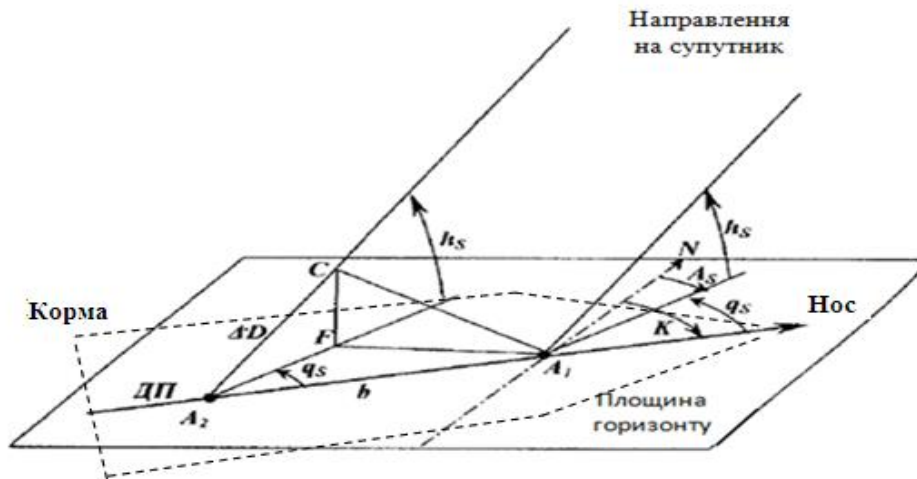


Рисунок 2.10 – Принцип визначення b_{GPS} (A_1A_2) при використанні рознесених в ніс і в корму антен GPS

$\Delta D = D_{A1} - D_{A2}$; $\Delta D = f(\Delta\Phi) = f(\Delta\psi + n) = f(\Delta\psi)$ з врахуванням багатозначності. $\Delta D = \lambda \cdot \Delta\Phi$, $\Rightarrow \Delta D = \lambda \cdot \Delta\psi$, тоді

$$\left. \begin{array}{l} \Delta D \\ h_s \\ b_{GPS} \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} A_2 F = \Delta D \cosh_s, \\ q_s = \arccos \frac{A_2 F}{b_{GPS}} \rightarrow \omega = \frac{d\eta}{dt}, \quad \eta = K_{GPS1} - K_{GPS2}, \\ K_{GPS} = A_s - q_s, \\ \operatorname{tg} K = \Delta\lambda \frac{\varphi_{CP}}{\Delta\varphi}, \quad b_{GPS} = \sqrt{\Delta\varphi^2 + (\Delta\lambda \cos \varphi_{CP})^2} = \frac{\Delta\varphi}{\cos K}, \\ \varphi_{CP} = 0,5 \cdot (\varphi_1 + \varphi_2) = \varphi_1 + 0,5 \cdot \Delta\varphi, \quad \Delta b = b_{GPS} - b_{3M}. \end{array} \right. \quad (2.30)$$

Крім того, даний спосіб також дозволяє здійснити обчислення відстаней від носу і корми судна до кромки суднового ходу, зазначених на SENC. Це пояснюється наступним чином [13]:

$$L_H = M_{KP} - M_H = \sqrt{(\varphi_{KP} - \varphi_H)^2 + \left[(\lambda_{KP} - \lambda_H) \cdot \cos \frac{\varphi_{KP} + \varphi_H}{2} \right]^2} = \frac{\varphi_{KP} - \varphi_H}{\cos K_1},$$

$$L_K = M_{KP} - M_K = \sqrt{(\varphi_{KP} - \varphi_K)^2 + \left[(\lambda_{KP} - \lambda_K) \cdot \cos \frac{\varphi_{KP} + \varphi_K}{2} \right]^2} = \frac{\varphi_{KP} - \varphi_K}{\cos K_2},$$

де K_1, K_2 – локсодромічні напрямки.

2. Вирази (2.28), (2.29) і рис. 2.9 визначають отримання диференціальних поправок $h(t)$ до виміряних глибин, які позначені на SENC, під час використання потоку даних від двох WS. З іншого боку, на ділянках, де спостерігаються незначні коливання рівня води (як правило, в межах суміжних шлюзів), встановлюється один WS. Тоді значення $h(t)$ матиме від (ВП id WS) [12, 13, 14]

$$\frac{1}{\det(pE - A)} S(p) = 0 \Rightarrow h(t) = \underbrace{y_{0ВП} + h_0}_{const} + \|(\delta y_{0ВП})_{i,1}\|, \quad y = f(h_{0ВП}, \delta y_{0ВП}). \quad (2.31)$$

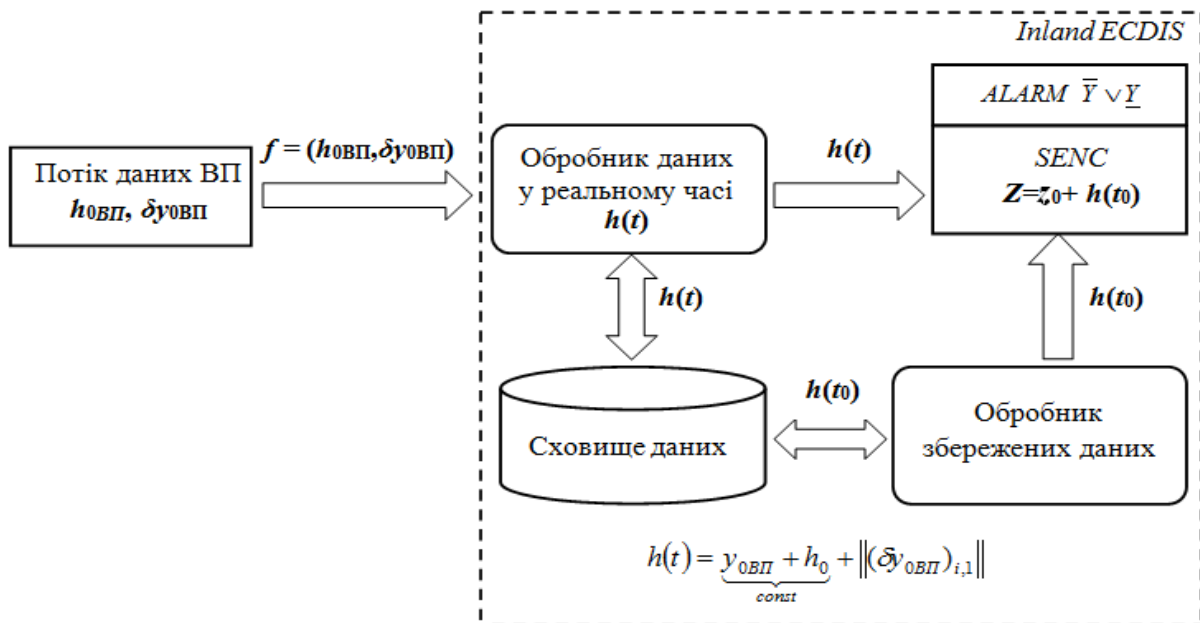


Рисунок 2.11 – Концептуальна модель системної архітектури отримання диференціальних поправок під час обробки потоку даних від одного WS

З виразу (2.31) і рис. 2.11 випливає, що процедура отримання диференціальних поправок під час обробки потоку даних від одного WS є окремим випадком обробки таких даних від двох WS.

3. Захоплення в Inland ECDIS потоку даних від WS здійснюється за допомогою даних SENC. Спочатку зупинимося на сценарії, що передує процедурі захоплення WS [14].

З огляду на те, що картографічні об'єкти ENC розподіляються за шарами (наприклад, навігаційні засоби, глибини, внутрішні водні шляхи, штучні об'єкти, якість даних, характеристики та інше), створюємо шар в ENC з класу об'єктів WS. Розподіл навантаження карти на шари дозволяє Inland ECDIS, що відображає SENC, управляти видимістю цих шарів, що є однією з важливих переваг ENC. У структурі ENC використовуємо файли з досить складною структурою, що містять графічні дані основного зображення у векторному текстовому форматі і включають пояснювальні графічні зображення в растровому форматі (*.tif* або *.jpg*).

Як звичайно на початку файлу ENC розмістимо метадані, які містять загальні для карти відомості: опис характеристик, ознаки тексту, що забезпечують швидкий пошук потрібної інформації у файлі. У метадані входять: географічний ідентифікатор, назва карти, одиниці виміру координат, висот і глибин, горизонтальний геодезичний датум, вертикальний датум, оригінальний масштаб ENC, мінімальний і максимальний масштаби відображення SENC, дата видання карти та інше.

Код КО (WS) визначається відповідно до системи класифікації та кодування картографічної інформації. Ця система задовольняє трьом основним вимогам: має ієрархічну структуру, використовує картографічні символи ІНО, забезпечує можливість додавання нових і зміни старих даних.

Запис КО (WS) складається із чотирьох основних полів: ***I, T, M, S***.

Перше поле відводиться ідентифікатору ***I (імені)*** об'єкта, що дозволяє визначити WS у складі даних ENC.

У другому полі міститься ознака ***T типу об'єкта***, який надається WS згідно з кодифікатором і визначає його умовне зображення.

У полі ***M (метрика)*** знаходяться значення координат, що характеризують просторове положення WS на ENC.

У четвертому полі міститься семантична характеристика S (атрибути) об'єкта. Поле S (ВП) включає: географічну назву WS; дальність дії WS; нуль WS у абсолютній системі висот; значення верхнього і нижнього судноплавного рівня води відносно нуля WS у абсолютній системі висот; розпізнавальний код WS при роботі у диференціальному режимі.

Ця інформація може бути викликана або представлена автоматично на відображенні SENC. Характеристики WS представляються в пам'яті в символному вигляді. Слід зазначити, що метрика – це тільки географічні координати WS, які безвідносні до проекції ENC. Перетворення координат WS до обраної проекції є задачею синтезу ENC. Сценарій захоплення потоку даних від WS і автоматизоване введення поправок полягає в наступному [13].

Спочатку по розпізнавальному коду здійснюється ідентифікація WS по даних SENC. Слід враховувати, що програмним забезпеченням Inland ECDIS передбачене ручне введення поправок до глибин з подальшою їх зміною на SENC як обов'язкова вимога стандартів. Тобто, додаткові доробки програмного забезпечення для змін при ручному введенні поправок не потрібні. Подаючи автоматизовані поправки $h(t)$ в зазначений канал при визначеному режимі роботи Inland ECDIS, отримуємо диференційовані зміни глибин в SENC (рис. 2.12). Алгоритм автоматизованого введення поправок розглянуто в розділі 3 дисертації.

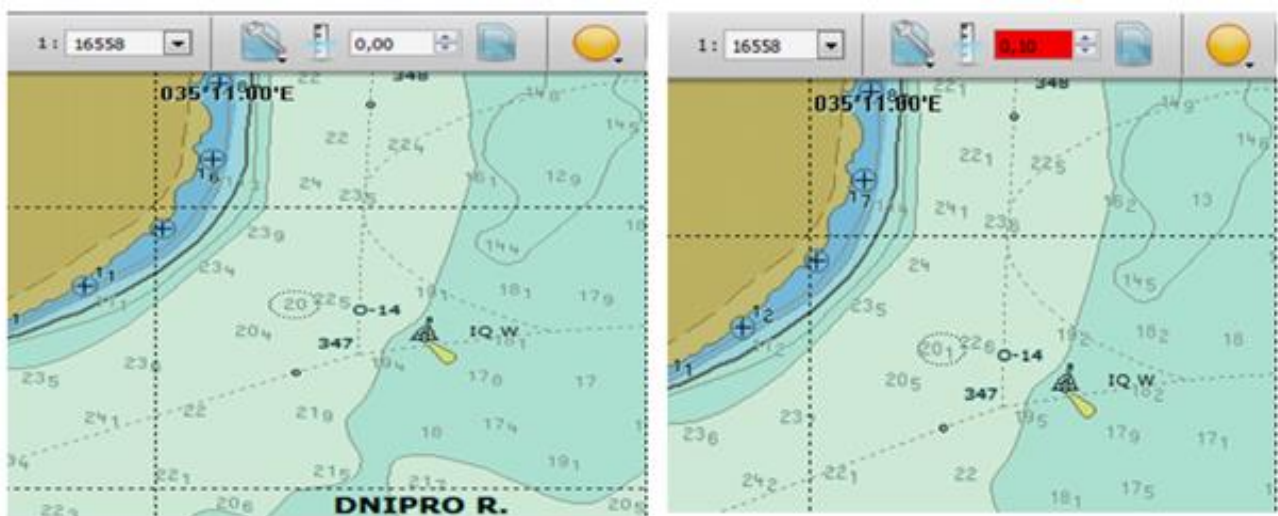


Рисунок 2.12 – Зміни глибин на SENC при $h(t_0) = 0$ & $h(t_0) = 0.10$ м

4. Такий контекстно-орієнтований керований підхід дозволяє сформулювати пропозиції щодо обов'язкових умов використання Inland ECDIS як еквівалента паперових навігаційних річкових карт і посібників для плавання. Така норма існує виключно для морських ECDIS.

Завдяки цьому при плаванні на ВВШ і наявності на судні Inland ECDIS можна не мати паперових навігаційних карт і використовувати її електронну прокладку без дублювання її графічною прокладкою на паперовій річковій карті (при ухваленні відповідного нормативно-правового акту), коли [13]:

Inland ECDIS сертифікована класифікаційним товариством;

Inland ECDIS має навігаційний режим з накладенням радарного зображення і рознесеними антенами GPS по носі і кормі судна;

Inland ECDIS має режим автоматизованого введення поправок до глибин, показаних на електронній річковій карті;

Inland ECDIS забезпечена схваленою резервною системою у разі виходу основного комплекту Inland ECDIS з ладу;

в Inland ECDIS застосовуються тільки офіційні векторні річкові карти (Inland ENC);

Inland ENC відкоригована на дату використання.

Висновки по РОЗДІЛУ 2

1. Викладена методологія системної оптимізації структури і стратегії використання деталізованого масиву глибин. Визначені основні етапи системної оптимізації, що мають найбільш специфічний характер. Особливостями викладеної методології є подолання багатокритеріальності оптимізаційних завдань, визначення їх обсягу і якості, підвищення частки формальних прийомів при постановці й вирішенні оптимізаційних завдань, подолання ряду невизначеностей, які неминучі при використанні принципів системного підходу тощо.

2. Визначена цільова функція поправок до глибин з урахуванням похибки визначення місця судна. Знайдені її екстремальні значення.
3. Здійснено геометричне моделювання функціональних нелінійних задач навігації внаслідок впливу факторів навколишнього середовища, що дозволяє зняти невизначеність безпечних областей навігації.
4. Відображення реальної ситуаційної динаміки використання деталізованого банку глибин при русі судна описано у вигляді диференціально-інтегральних рівнянь з визначенням відповідних математичних прийомів для їх вирішення.
5. Здійснена інтелектуальна обробка потоку даних від водомірних постів за символно-формалізованими перетвореннями Лапласа при русі судна. Отриманий повний математичний вираз для автоматизованого надходження диференціальних поправок до вимірних глибин, які позначені на SENC.
6. Реалізований контекстно-орієнтований керований підхід під час використання ансамблю пошукових агентів в інтелектуальній обробці потоків даних від водомірних постів. Використана методологія розробки системи підтримки прийняття рішень, основою якої є контекст, як засіб інтеграції методів системного та ситуаційного аналізу.
7. Запропоновані оптимальні варіанти визначення координат рухомого об'єкта і процедури отримання диференціальних поправок під час обробки потоку даних від водомірних постів у зоні функціональної здійсненності.
8. Розроблений сценарій захоплення в Inland ECDIS потоку даних від водомірних постів і автоматизованого введення поправок до вимірних глибин, які позначені на SENC.
9. Обґрунтована інформація по водомірних постах, яка може бути викликана або представлена автоматично на відображенні SENC.
10. Сформульовані пропозиції щодо обов'язкових умов використання Inland ECDIS як еквівалента паперових навігаційних річкових карт і посібників для плавання.

РОЗДІЛ 3

ФОРМУВАННЯ СТРАТЕГІЇ РОЗВ'ЯЗКУ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТІВ WS ПРИ ВИКОРИСТАННІ INLAND ECDIS В УМОВАХ РІЧКОВОЇ е-НАВІГАЦІЇ

3.1. Застосування критеріїв інтелектуальної обробки потоків навігаційних даних від WS

Методом оцінки вирішення завдань інтелектуальної обробки безперервного потоку навігаційних даних від WS є критеріальний метод, де кожна окремо взята альтернатива оцінюється конкретним числом (критерієм, цільовою функцією) [110, 121, 133]. Порівняння альтернатив зводиться до порівняння відповідних чисел, тобто для всієї множини альтернатив $X = \{x_n\}$ вводиться цільова функція $Z = f(x)$. Причому $Z = f(x) \Rightarrow \max$ або \min . Значення альтернатив $Z_{\min} < Z < Z_{\max}$ виражаються через скалярні, векторні і множинні величини. Застосуємо шкали інтервалів

$$\frac{x_1 - x_2}{x_3 - x_4} = \frac{f(x_1) - f(x_2)}{f(x_3) - f(x_4)} = \text{const.} \quad (3.1)$$

де $f(x) = ax + b$ – лінійні допустимі перетворення.

Основним типом шкал є шкала інтервалів, оскільки цей тип містить шкали, єдині з точністю до безлічі позитивних лінійних допустимих перетворень.

Запропонований підхід використовує не тільки особливості реальної ситуації, а й різні аспекти, що базуються на деякій сукупності проблемних областей. Область автоматизованого рішення (АР) у даному випадку є багаторівневою структурою, яка включає область проблем, область моделей, область методу та область реалізацій [121, 133, 136]. Для використання цих особливостей застосуємо методологію розробки СППР як засіб інтеграції методів системного та

ситуаційного аналізу. Тобто мається на увазі інформація, яка може бути використана або характеризує процес розв'язання проблемної задачі [121, 133, 140,]. Це дозволить отримати релевантну, реальну та доступну інформацію для розв'язання конкретної задачі або для розуміння поточної ситуації. Реалізація такого підходу під час інтелектуальної обробки потоків даних від WS полягає у наступному.

Необхідною умовою безпечного проведення судна на ВВШ України є забезпечення вахтового помічника капітана достовірною навігаційною інформацією про глибини від Inland ECDIS. Така інформація складається з множини альтернатив, що обробляються. Інтегральна інформація (II) представляється в Inland ECDIS у вигляді навігаційних параметрів B , $h_{10} = h_{20}$, h_{01WS} , h_{02WS} , $y_{01WS} = y_{02WS}$, y_{1WS} , y_{2WS} , δy_{01WS} , δy_{02WS} згідно з виразами (2.28), (2.29), (2.31) для відображення навігаційної інформації на SENC. Використовуючи методологію системної оптимізації структури і стратегії використання деталізованого масиву глибин (підрозділ 2.1), зафіксуємо рівень потенціалу якості НП.

Залежно від повноти інформації $h(t)$ AP приймаються як в умовах визначеності, так і невизначеності. Кількість альтернатив $A(t) \neq \text{const}$, тому вибір AP здійснюємо за наявності двох або невеликої кількості і великої, але скінченної кількості альтернатив [23, 121, 133].

Розглянемо елементи A & K (критерій оптимальності), розміщені у лінійній оболонці елементів лінійного простору

$$\langle A, K \rangle. \quad (3.2)$$

Рішенням виразу (3.2) є $A^{\text{опт}} \in A \Leftrightarrow K$. Слід зазначити, що основним джерелом невизначеності є зовнішнє середовище $Q = \{Q_j\}$. Невизначеність середовища призводить до невідомих наслідків реалізації альтернатив. Таким чином, створюються проблеми безпечної провідки судна.

Вихідну інформацію для прийняття AP в умовах невизначеності (*vag*) та ризику (R) представимо у вигляді моделі AP (рис. 3.1).

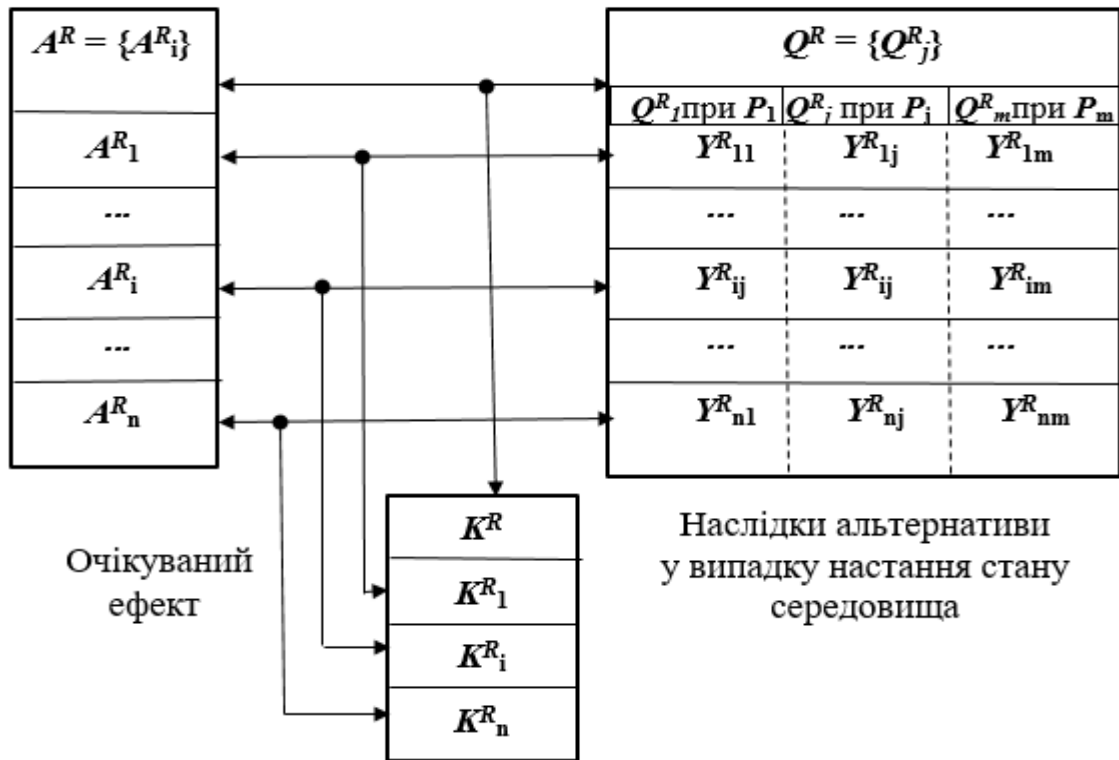


Рисунок 3.1 – Модель AP в умовах ризику R

З рис.3.1 випливає, що при різних варіантах розвитку зовнішнього середовища не існує однозначного підходу до вибору оптимального рішення.

Зафіксуємо обрані моделі оптимальної альтернативи в умовах *vag* при передачі даних від WS [121].

а) Модель 1.

$$A_B^{vag} = \arg \max_i K_i, \quad (3.3)$$

$$K_i = \sum_j Y_{ij} x P_j,$$

Де x – єдине оптимальне рішення.

Модель характеризується *max* значенням математичного очікування (критерії Байєса).

б) Модель 2.

$$A_B^{vag} = \arg \max_i K_i, \quad (3.4)$$

$$K_i = \min_j Y_{ij},$$

Модель характеризується вибором *max* значень серед *min* результатів математичного очікування (критерії Вальда).

с) Модель 3.

$$A_0^{vag} = \arg \max_i K_i, \quad (3.5)$$

$$K_i = \max_j Y_{ij},$$

Модель характеризується вибором *max* значень серед *max* результатів математичного очікування (критерії оптимізму).

Вимірювані НП багаторазово повторюють ситуацію вибору. Це – глибини; рівень води за показаннями WS; висоти мостів, ліній електропередач над рівнем води та інше.

У зв'язку з великою кількістю реалізацій критеріїв моделі 1 (3.3) значення виразу (3.2) поступово стабілізується і ризик буде практично виключений. Інші моделі застосовуються тоді, коли потрібно проявити крайню обережність, вибрати таке рішення, яке дасть гарантований результат [121, 133, 136,].

У табл. 3.1 представлений перелік інформаційних ситуацій *IS*, пов'язаних з *vag* зовнішнього середовища при передачі даних від WS [121].

Таблиця 3.1 – Перелік інформаційних ситуацій, пов'язаних з *vag*

<i>IS</i>	<i>Vag</i>	Критерії прийняття рішень
<i>IS</i> ₁	Безумовна ймовірність на елементах множини Q	Модель 1, вираз (3.3)
<i>IS</i> ₂	Ймовірність з невідомими параметрами множини Q	Модель 2, вираз (3.4)
<i>IS</i> ₃	Невідомий розподіл ймовірностей на елементах множини Q	Критерії Джейнса, Лапласа
<i>IS</i> ₄	Протилежні інтереси середовища у процесі прийняття рішень	$W = \max_{1 \leq i \leq m} \min_{1 \leq j \leq n} a_{ij} = 3,$ $S = \min_{1 \leq i \leq m} \max_{1 \leq j \leq n} r_{ij} = 2$
<i>IS</i> ₅	Проміжна інформаційна ситуація між <i>IS</i> ₁ та <i>IS</i> ₅	$W = \max_{1 \leq i \leq m} \left\{ p \min_{1 \leq j \leq n} a_{ij} + (1-p) \max_{1 \leq j \leq n} a_{ij} \right\}$ $0 \leq p \leq 1, \quad p = 0 \Rightarrow W = 6,$ $p = 1 \Rightarrow W = 3.$ $S = \max_{1 \leq i \leq m} \left\{ p \min_{1 \leq j \leq n} r_{ij} + (1-p) \max_{1 \leq j \leq n} r_{ij} \right\}.$ $p = 0 \Rightarrow S = 3,$ $p = 1 \Rightarrow S = 0.$

Оптимальна стратегія:

$$A = \|a_{ij}\|_{mn} \Rightarrow p_j(Q_j) \Rightarrow \max \sum_{1 \leq i \leq m} p_j a_{ij} \ \& \ \min \sum_{1 \leq i \leq m} p_i r_{ij}. \quad (3.6)$$

У разі відсутності інформації про вірогідність станів середовища однозначних і математично чітких рекомендацій щодо вибору критеріїв ухвалення рішень не існує.

При передачі даних від WS моделі прийняття рішень характеризуються умовами багатокритеріальності. Така вихідна інформація для прийняття рішень в умовах *vag* пов'язана з великою кількістю критеріїв [121, 133, 136]. Модель прийняття рішень в умовах багатокритеріальності (multicriteria) відображена на рис. 3.2 [133]. У таблиці використані такі позначення: $N = \{N_a\}$ – множина критеріїв оцінки альтернатив; K_i – підсумкова оцінка A_i ; V_a – оцінка важливості a -го критерію ($\sum_a V_a = 1$), F_{ia} – оцінка переваги A_i за a -м критерієм ($\sum_a F_{ia} = 1$).

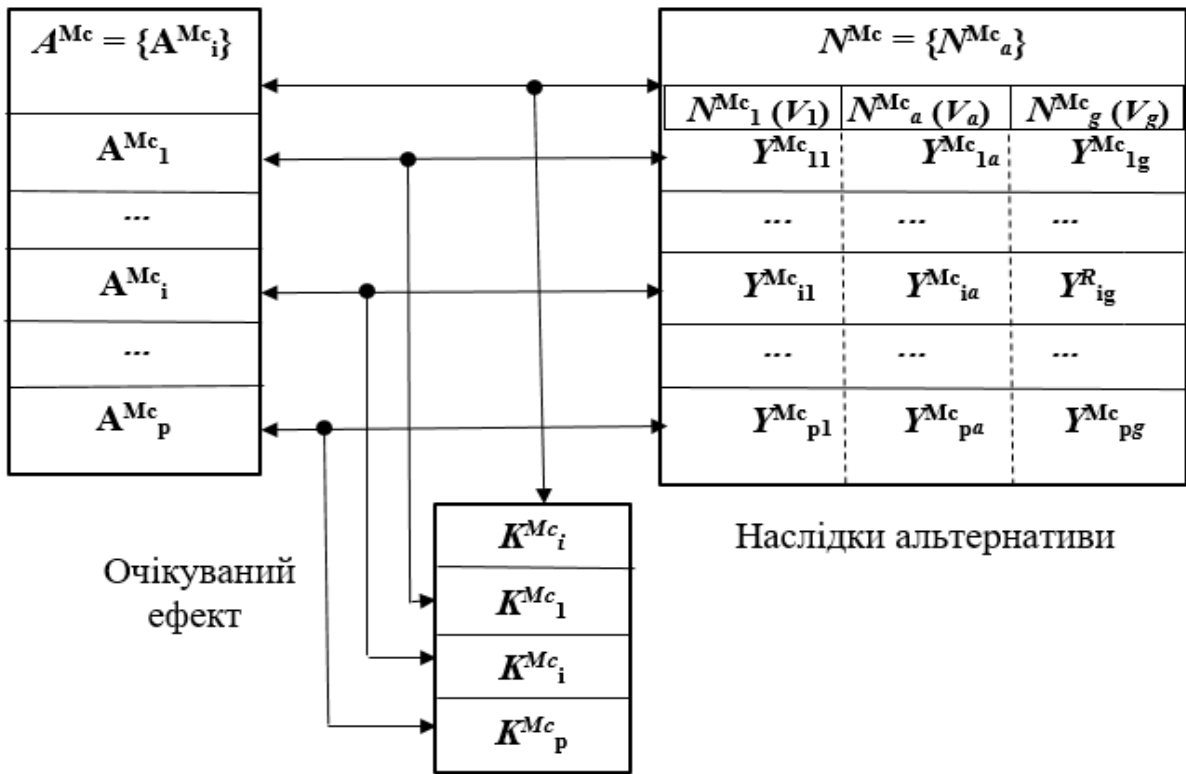


Рисунок 3.2 – Модель прийняття рішень в умовах багатокритеріальності

За модель прийняття рішень в умовах багатокритеріальності обираємо найпоширенішу нормативну модель, засновану на критерії сумарної ефективності:

$$\begin{aligned} A_{CE} &= \arg \max_i K_i, \\ K_i &= \sum_a F_{ia} \cdot x \cdot V_a, \end{aligned} \quad (3.7)$$

де A_{CE} – альтернатива, оптимальна за критерієм сумарної ефективності.

Вираз (3.7) означає, що оптимальним рішенням багатокритеріальної задачі є альтернатива, яка характеризується найбільшим значенням критерію сумарної ефективності [63, 121, 133].

Одним із найважливіших етапів вирішення багатокритеріальної задачі є формування множини критеріїв. При передачі даних від WS набір критеріїв (функціоналів оцінювання) повинен бути повним. Характеристикою функціонала оцінювання є інгредієнт (*Ing*): позитивний $Ing = F = F^+$ (максимальне значення) і негативний $Ing = F = F^-$ (мінімальне значення) [121, 133].

Розглянемо етап побудови багатокритеріальної моделі з визначення оцінок варіантів AP. Прийняття багатоцільового рішення визначимо у вигляді виразу $\{X, F\}$, де $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ – множина рішень; $F = \{F^1, \dots, F^Q\} = \{f_k^q\}_{q,k=1}^{Q,m}$ – вектори функціоналів оцінювання.

Для вирішення вказаної проблеми застосуємо метод нормалізації (табл. 3.2); ваговий метод (табл. 3.3) і метод згортки (табл. 3.4) [9, 121, 133].

Застосування методу нормалізації зумовлюється тим, що при передачі даних від WS функціонали оцінювання мають різні одиниці вимірювання або різні порядки величин, які вимірюються. У табл. 3.2 використані математичні вирази приведення до одного безрозмірного масштабу вимірювань.

Таблиця 3.2 – Методи нормалізації критеріїв в системі автоматизованого відображення фактичних глибин

Метод нормалізації	Математичний вираз
Зміна векторів функціоналів оцінювання на підставі змін Ing на протилежний $F = F^- \& F = F^+$, $F = \{F^1, \dots, F^Q\} = \{f_k^q\}_{q,k=1}^{Q,m}$	$f_k^{q\pm} \rightarrow (-f_k^q)^{\mp}, f_k^{q\pm} \rightarrow (1/f_k^q)^{\mp}$
Вибір ідеального вектора 1) $F^{ideal} = \{f_q^{ideal}\}, q = \overline{1, k}$, 2) $F^{ideal} = F_{\max} = \{f_{1\max}, f_{2\max}, \dots, f_{k\max}\}$, 3) $F_q^{ideal} = f_{q\max} - f_{q\min}, q = \overline{1, k}$	$f_k^{q\pm} \rightarrow \left(\frac{f_k^q}{f^{ideal}} \right)$
Порівняння векторів функціоналів оцінювання. Нормалізація зовнішнього середовища	$f_k^{q+} \rightarrow (f_k^q - \min_k f_k^q)^+$, $f_k^{q-} \rightarrow (\max_k f_k^q - f_k^q)^+$; $f_k^{q-} \rightarrow \left(\frac{f_k^q}{\min_k f_k^q} \right)^-$, $f_k^{q+} \rightarrow \left(\frac{f_k^q}{\max_k f_k^q} \right)^+$ $f_k^{q\pm} \rightarrow \left(\frac{f_k^q - \min_k f_k^q}{\max_k f_k^q - \min_k f_k^q} \right)^{\pm}$
Усереднення векторів функціоналів оцінювання	$f_k^{q\pm} \rightarrow \left(\frac{f_k^q}{\text{середнє } f_k^q} \right)^{\pm}$
Нормалізація векторів функціоналів оцінювання за Севіджем	$f_k^{q\pm} \rightarrow \left(\frac{\max_k f_k^q - f_k^q}{\max_k f_k^q - \min_k f_k^q} \right)^{\mp}$

Пріоритет локальних критеріїв задаємо за допомогою вектора пріоритету і вагового вектора (табл. 3.3). Пріоритет функціоналів оцінювання зводиться до коригування схеми компромісу і встановлення ступеня важливості даних, що передаються. Обираємо ряд бінарних відношень пріоритету (RV) і вектор вагових коефіцієнтів пріоритету (U). Застосовуємо принцип гнучкого врахування пріоритету. У результаті практична реалізація зводиться до трансформації простору однорідних даних, що передаються. Під співвідношенням пріоритету (u)

матимемо вектор вагових коефіцієнтів (u_1, \dots, u_q) на компонентах відповідних деталізованих показників [121].

Таблиця 3.3 – Методи урахування пріоритету функціоналів оцінювання в системі автоматизованого відображення фактичних глибин

Врахування пріоритету	Математичний вираз
Лінійний	$u_q \cdot f_k^q$
Степеневий	$(f_k^q)^{u_q}$
Скорочення розмірності задачі	$F = \{F^q\}, q \in Q^0, Q^0 = \{q = \overline{1, Q} / (F^q \succ F^{q_0})\}$

Для визначення рейтингу об'єкта серед вибірки застосуємо інтегрований показник у вигляді критерію згортки v . За цим показником здійснюється впорядкування множини елементів заданої вибірки. Критерії згортки наведені у табл. 3.4 [121].

Таблиця 3.4 – Критерії згортки при обробки потоків даних від WS

v	Математичний вираз
v_1	$v^+ = \max_k \min_q f_k^{q^+}, v^- = \min_k \max_q f_k^{q^-}$ (Критерії Вальда та Севіджа)
v_2	$v = \max_k \max_q f_k^q$
v_3	$v = f_{k_0}^1 = f_{k_0}^2 = \dots = f_{k_0}^q$
v_4	$v = \max_k \sum_q f_k^q$
v_5	$v = \max_k \prod_q f_k^q$

З урахуванням вищевикладеного інтегральна інформація Π матиме вигляд [9, 121, 133]:

$$\Pi = \left\{ \frac{S(p)}{\det(pE - A)}, B, h_{10}, y_{01WS}, \|\delta y_{01WS}\| \right\} = id \left\{ z_1, z_2 \dots z_5 \right\}_{n=5}, \quad (3.8)$$

де $y_{1WS} = f(h_{01WS}, \delta y_{01WS})$, $y_{2WS} = f(h_{02WS}, \delta y_{02WS})$ – дані, що надходять від WS;

$$z_1 = \frac{1}{\underbrace{\det(pE - A)}_{(C)_{i,j}}} S(p) \cdot \text{— матриця } C_{ij} \text{ зі значенням змін миттєвого рівня води}$$

відносно 2WS. C_{ij} обчислюється в Inland ECDIS;

$z_2 = B$ – матриця $n \times m$ місця знаходження судна B за даними SENC;

$z_3 = h_{10}$ – постійна складова, що дорівнює можливим змінам нуля глибин відносно абсолютної системи координат $h_{10} = h_{20}$;

$z_4 = y_{01WS}$ – нуль глибин 1WS, $y_{01WS} = y_{02WS}$;

$z_5 = \|(\delta y_{01WS})_{i,1}\|$ – матриця-стовпець змін δy_{01WS} .

Області значень функцій $D(z_i)$ [9, 121, 133]:

$$D(z_1) = \left[\min_{Z_1 > HCP} f(z_1); \max_{Z_1 < BCP} f(z_1) \right], \quad h_2 - h_1 \leq \frac{k_3 \cdot m_{Z0}}{2};$$

$$D(z_2) = \left[\min_{Z_2 \in \Omega(BOH)} f(z_2); \max_{Z_2 \in \Omega(BOH)} f(z_2) \right], \quad 0 < M \leq 5 \text{ м}, \quad 1.5 < \sec h_{cp} \cdot \sqrt{\frac{3}{\sum \sin^2 \Delta A}} < 5; \quad (3.9)$$

$$D(z_3) = \left[\min_{Z_3 \rightarrow 0} f(z_3); \max_{Z_3 \rightarrow 0} f(z_3) \right]; \quad D(z_4) = \left[\min_{HCP < Z_4 < BCP} f(z_4); \max_{HCP < Z_4 < BCP} f(z_4) \right];$$

$$D(z_5) = \left[\min_{HCP < Z_5 < BCP} f(z_5); \max_{HCP < Z_5 < BCP} f(z_5) \right],$$

де HCP, BCP – нижній і верхній судноплавний рівень;

BOH – безпечна область навігації;

$h_2 - h_1$ – різниця показів WS;

Далі для кожної функції $D(z_i)$ встановлюються наведені вище критерії інтелектуальної обробки потоків навігаційних даних від WS.

Заключний етап побудови багатокритеріальної моделі з визначенням оцінок варіантів AP із застосуванням штучних нейронних мереж (NN) розглянуто у наступному підрозділі 3.2.

3.2. Розподіл функцій між процедурами розв'язку інтелектуальної обробки потоку даних від WS із застосуванням гібридних нейро-нечітких моделей

Важливим компонентом сучасної навігації на ВВШ України є використання берегових і суднових інформаційних систем (ІС). До типів берегових ІС, які існують на ВВШ України і використовуються для руху ВТЗ, відносяться: системи обробки операцій, управлінські інформаційні системи (WS, RIS, AIS, DGPS, берегові елементи Inland radar) [32].

Нове покоління ІС застосування на ВВШ України ще не знайшло. Це в першу чергу системи, побудовані на *NN* з процесорними елементами. Наявність в умовах сучасної навігації складних завдань викликає потребу в застосуванні інтелектуальних адаптивних систем. Ці системи спроможні пристосовуватися до дуже широкого діапазону зовнішніх умов, що є більш ефективним порівняно з традиційними методами. Ключовим аспектом *NN* є здатність навчатися в процесі розв'язання навігаційних задач [58, 133].

Для вирішення складного завдання автоматизації отримання диференційних поправок $h(t)$ до глибин, показаних на SENC Inland ECDIS, що потребує аналітичних обчислень, використовуємо *NN* – послідовність нейронів, з'єднаних між собою синапсами, що дозволить аналізувати, запам'ятовувати вхідну інформацію і відтворювати її зі своєї пам'яті.

Застосування *NN* для вирішення даного завдання здійснюється шляхом розв'язання процедури класифікації вхідних сигналів, можливості передбачати зростання або зменшення значень диференційних поправок $h(t)$ до глибин, розпізнання інформації, що надходить від WS.

Розглянемо етап побудови багатокритеріальної моделі з визначення оцінок варіантів AP та виявлення системи пріоритетів вхідних сигналів. На рис. 3.3 показаний нейрон – застосована обчислювальна одиниця, який отримує інформацію, виконує над нею обчислення і передає її далі [133].

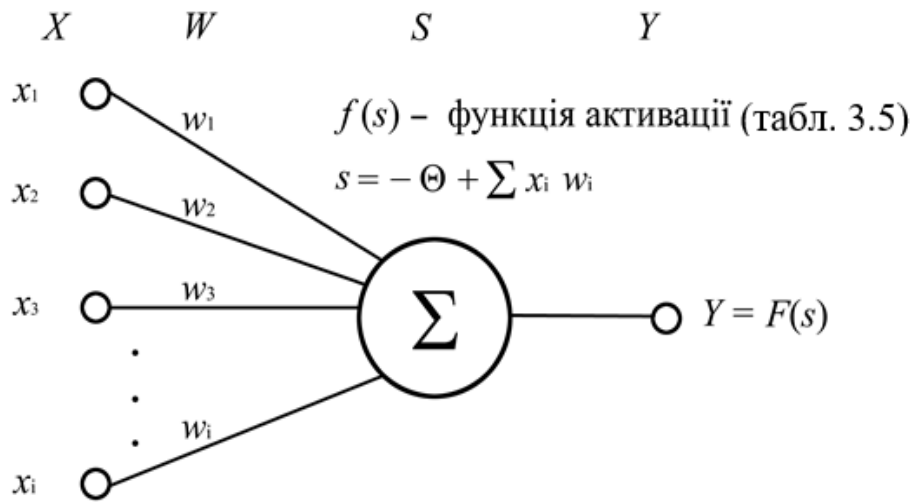


Рисунок 3.3 – Застосована модель штучного нейрона

Таблиця 3.5 – Застосовані функції активації нейронів (до рис. 3.3)

№	Назва функції	Математичний вираз	Область значень	Графічні пояснення
1	Порогова	$f(s) = \begin{cases} 0, & s < \Theta; \\ 1, & s \geq \Theta \end{cases}$	$\{0,1\}$	
2	Лінійна	$f(s) = ks$	$(-\infty; +\infty)$	
3	Логістична	$f(s) = \frac{1}{1 + e^{-as}}$	$(0,1)$	
4	<i>th</i>	$f(s) = \frac{e^{as} - e^{-as}}{e^{as} + e^{-as}}$	$(-1,1)$	
5	Лінійний поріг	$f(s) = \begin{cases} 0, & s < \Theta; \\ ks, & 0 \leq s < \Theta; \\ 1, & s \geq \Theta \end{cases}$	$(0,1)$	

NN складається з великої кількості нейронів, розподілених по шарах (вхідний шар, приховані шари $n \leq 3$, вихідний шар). Вхідними параметрами нейронів є вхідні дані (input data) і вихідні дані (output data). У разі вхідного нейрона input = output. У поле input надходить сумарна інформація від усіх нейронів з попереднього шару, з подальшою нормалізацією із застосуванням функції активації $f(x)$ і далі \rightarrow поле output. Нейрони оперують числами в діапазоні $[0,1] \vee [-1,1]$. При обробці чисел, які виходять з даного діапазону – одиниця ділиться на дане число (процес нормалізації). Один штучний нейрон виконує процедуру розпізнавання. Нейронні обчислення здійснюються в мережі NN . Обчислення вихідного вектора Y (компоненти: виходи нейронів y_i) можна звести до матричного множення

$$Y = F(XW). \quad (3.10)$$

Багатошарова мережа NN утворюється каскадами шарів. Причому, вихід одного шару є входом іншого, і таку багатошарову мережу можна замінити еквівалентною одношаровою мережею. Обчислення виразу (3.10) полягає в наступному. Вхідний вектор множиться на першу вагову матрицю. Далі результуючий вектор множиться на другу вагову матрицю з урахуванням функції активації F (табл. 3.5) [27].

Навчання буде здійснюватися шляхом послідовного пред'явлення вхідних векторів з підстроюванням ваг. При такому процесі навчання ваги мережі стають такими, що кожен вхідний вектор вироблятиме вихідний вектор [30, 133]. У мережі NN для ІМН доцільно використовувати алгоритми навчання з вчителем.

Двошарова NN для вхідних сигналів від WS .

На рис. 3.4 представлена двошарова NN , яка отримана з одношарової [116].

На вхід надходять класифіковані сигнали від WS по синапсах, що утворюють один шар, який видає три вихідних сигнали

$$y_1 = f \left[\sum_{i=1}^n x_i w_{i1} \right], \quad y_2 = f \left[\sum_{i=1}^n x_i w_{i2} \right], \quad y_3 = f \left[\sum_{i=1}^n x_i w_{i3} \right]. \quad (3.11)$$

Вагові коефіцієнти $W^{(i)}$ одного шару нейронів зводимо в матрицю по виразу (3.10) шляхом додавання другого шару, що складається з одного нейрона.

Далі отримуємо:

$$\bar{Y} = F\left(\overline{XW}(\Sigma)\right) = F(\bar{V}) = \sum_{i=1}^m v_i \sigma\left(\sum_{j=0}^n x_j \cdot w_{ji}\right), \quad (3.12)$$

де $f(s) = \frac{e^{as} - e^{-as}}{e^{as} + e^{-as}}$ – логістична функція активації нейронів (табл. 3.5).

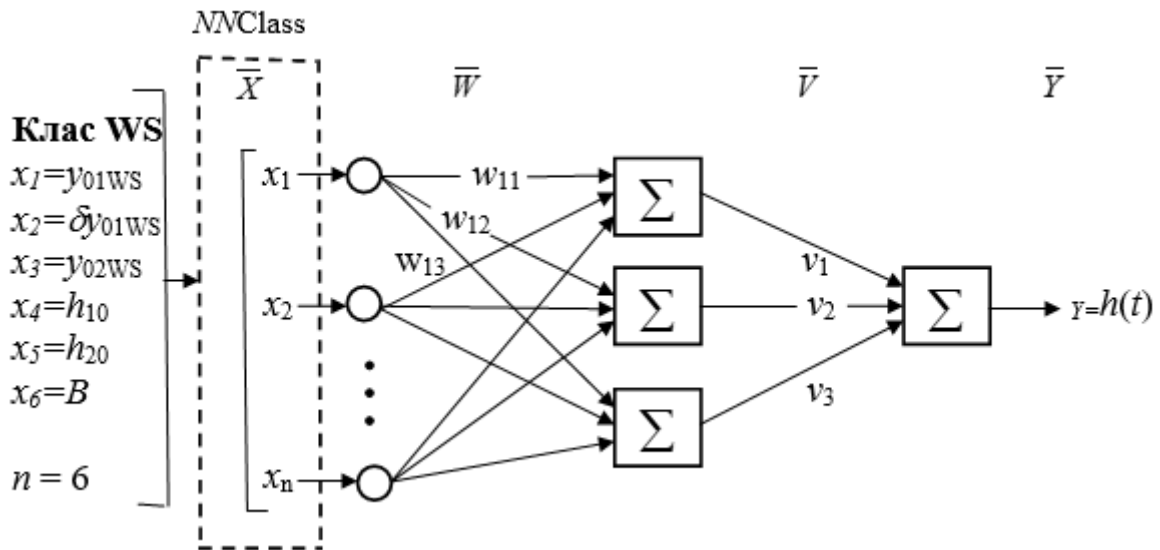


Рисунок 3.4 – Двошарова NN для входних сигналів класу WS

Одержуємо повний вираз (2.28) для отримання диференціальних поправок $h(t)$ до вимірних глибин, які позначені на SENC [13].

$$h(t) = \frac{1}{\underbrace{\det(pE - A)}_{(C)_{i,j}}} S(p) \cdot B + \underbrace{y_{01WS} + h_{10}}_{const} + \|(\delta y_{01WS})_{i,1}\|, \quad (3.13)$$

де $S(p)$ – adj (союзна матриця) для $(pE - A)$; $(pE - A)$ – характеристична матриця для матриці стану A ; $\det(pE - A)$ – визначає степеневий поліном змінної Лапласа p порядку n ; $(C)_{i,j}$ – матриця зі значенням змін миттєвого рівня води відносно 2WS; B – матриця $n \times m$ місця знаходження судна B за даними, що зняті з SENC; h_{01WS} – постійна складова, що дорівнює нулю глибин $h_{01WS} = h_{02WS}$; h_{10} – постійна складова, що дорівнює можливим змінам нуля глибин відносно абсолютної

системи координат $h_{10} = h_{20}$; y_{01WS} – нуль глибин 1ВП, $y_{01WS} = y_{02WS}$; δy_{01WS} – миттєвий рівень води відносно $y_{01ВП}$; $\|(\delta y_{01WS})_{i,1}\|$ – матриця-стовпець змін δy_{01WS} миттєвого рівня води відносно 1WS.

Матрична передавальна функція C_{ij} являє собою прямокутну матрицю розмірності $m \times n$. Кожен елемент цієї матриці є скалярна передавальна функція від входу до виходу. Усі скалярні передавальні функції мають один і той же характеристичний поліном. Тому аналіз потоку даних від WS зводиться до аналізу коренів цього полінома. Для автоматизованого показу фактичних глибин в Inland ECDIS відстань між WS розбивається на умовні зони. Різниця висот миттєвого рівня в двох крайніх точках умовної зони $\sigma(s)$ не повинна перевищувати половини точності вимірювання глибин m_{z0} .

Навчання NN за методом зворотного поширення помилки [133].

Процедура навчання показана на рис. 3.5.

$$y = f(e), \tag{3.14}$$

де e – зважена сума вхідних сигналів. $e = x_1 w_1 + x_2 w_2 + \dots + x_n w_n$.

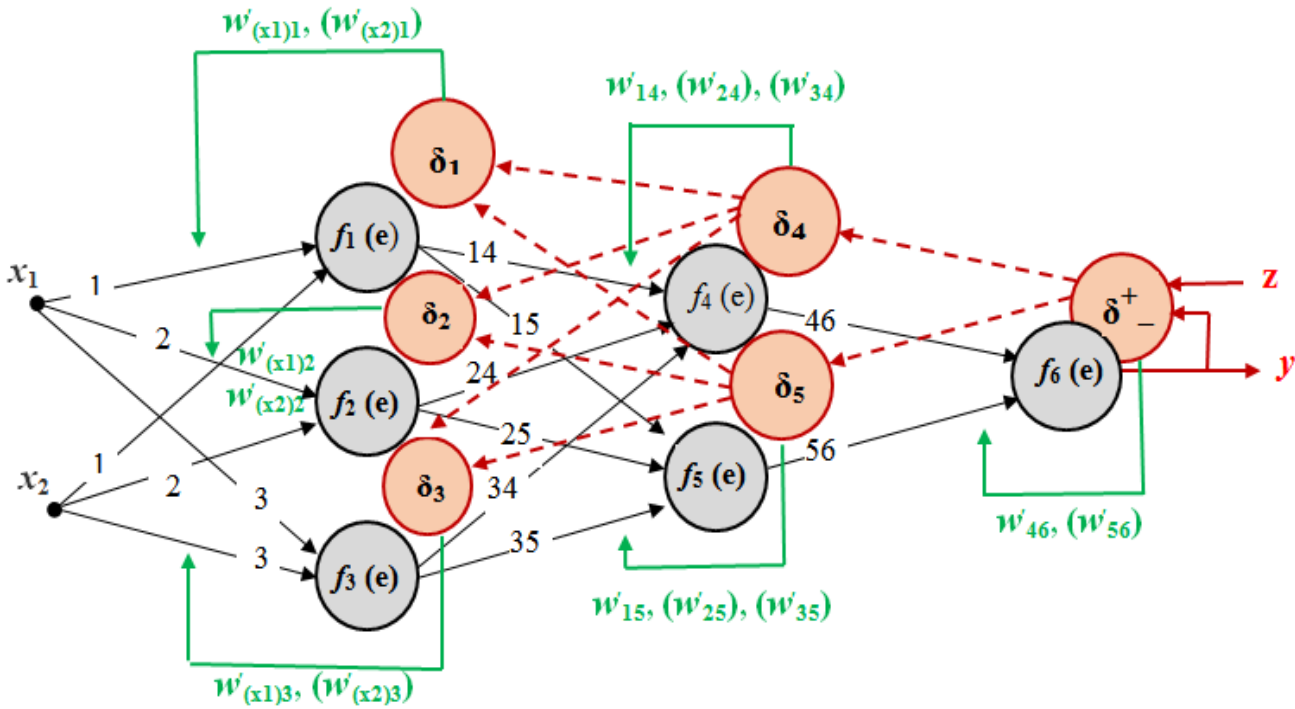


Рисунок 3.5 – Навчання NN за методом зворотного поширення помилки

На рис. 3.5 показаний додатковий прихований шар, пов'язаний з розв'язанням інформації від 2WS.

Таблиця 3.6 – Поширення прямих сигналів через шари NN

Вхідний шар	Прихований шар	Прихований шар	Вихідний шар
1– $\text{idw}_{(x1)1} \vee \text{idw}_{(x2)1} : \Leftrightarrow x_1 \vee x_2$.	14– idw_{14} .	15– idw_{15} .	46– idw_{46} .
2– $\text{idw}_{(x1)2} \vee \text{idw}_{(x2)2} : \Leftrightarrow x_1 \vee x_2$.	24– idw_{24} .	25– idw_{25} .	56– idw_{56} .
3– $\text{idw}_{(x1)3} \vee \text{idw}_{(x2)3} : \Leftrightarrow x_1 \vee x_2$.	34– idw_{34} .	35– idw_{35} .	

Використовуючи рис. 3.5 і дані таблиці 3.6, визначимо вихідні сигнали (output) нейронів. Під час ініціалізації NN ваги розставляються у випадковому порядку.

$$\begin{aligned}
 y_1 &= f_1(w_{(x1)1}x_1) + w_{(x2)1}x_2, & y_4 &= f_4(w_{14}y_1 + w_{24}y_2 + w_{34}y_3), \\
 y_2 &= f_2(w_{(x1)2}x_1) + w_{(x2)2}x_2, & y_5 &= f_5(w_{15}y_1 + w_{25}y_2 + w_{35}y_3), \\
 y_3 &= f_3(w_{(x1)3}x_1) + w_{(x2)3}x_2, & y_6 &= f_6(w_{46}y_4 + w_{56}y_5).
 \end{aligned} \tag{3.15}$$

Обчислення сигналу помилки.

Помилка – процентна величина, що відображає розбіжність між очікуваними і отриманими відповідями. Помилка формується кожену епоху і повинна йти на спад. Розрахунок помилки за формулою (3.16) зберігає баланс в обчисленні (метод MSE – Mean Squared Error).

$$\delta = \frac{[f_1(e) - \delta_1]^2 + [f_2(e) - \delta_2]^2 + \dots + [f_n(e) - \delta_n]^2}{n}. \tag{3.16}$$

$$\begin{aligned}
 \delta = z - y \rightarrow \delta_4 = w_{46}\delta \rightarrow \delta_5 = w_{56}\delta \rightarrow \delta_1 = w_{14}\delta_4 + w_{15}\delta_5 \rightarrow \\
 \rightarrow \delta_2 = w_{24}\delta_4 + w_{25}\delta_5 \rightarrow \delta_3 = w_{34}\delta_4 + w_{35}\delta_5.
 \end{aligned} \tag{3.17}$$

У зв'язку з використанням методу градієнтного спуску в алгоритмі зворотного поширення помилки обчислюємо похідну $df(e)/de$ через активаційну функцію (табл. 3.5) [27].

$$\begin{aligned}
w'_{(x1)1} &= w_{(x1)1} + \mu\delta_1 \frac{df_1(e)}{de} x_1, & w'_{(x2)1} &= w_{(x2)1} + \mu\delta_1 \frac{df_1(e)}{de} x_2, \\
w'_{(x1)2} &= w_{(x1)2} + \mu\delta_2 \frac{df_2(e)}{de} x_1, & w'_{(x2)2} &= w_{(x2)2} + \mu\delta_2 \frac{df_2(e)}{de} x_2, \\
w'_{(x1)3} &= w_{(x1)3} + \mu\delta_3 \frac{df_3(e)}{de} x_1, & w'_{(x2)3} &= w_{(x2)3} + \mu\delta_3 \frac{df_3(e)}{de} x_2, \\
w'_{14} &= w_{14} + \mu\delta_4 \frac{df_4(e)}{de} y_1, & w'_{24} &= w_{24} + \mu\delta_4 \frac{df_4(e)}{de} y_2, & w'_{34} &= w_{34} + \mu\delta_4 \frac{df_4(e)}{de} y_3 \\
w'_{15} &= w_{15} + \mu\delta_5 \frac{df_5(e)}{de} y_1, & w'_{25} &= w_{25} + \mu\delta_5 \frac{df_5(e)}{de} y_2, & w'_{35} &= w_{35} + \mu\delta_5 \frac{df_5(e)}{de} y_3 \\
w'_{46} &= w_{46} + \mu\delta \frac{df_6(e)}{de} y_4, & w'_{56} &= w_{56} + \mu\delta_5 \frac{df_6(e)}{de} y_5.
\end{aligned}$$

Коефіцієнт μ впливає на швидкість навчання NN . Способи вибору μ :

а) $\mu_{\max} \rightarrow \mu_{\min}$. б) $\mu_{\min} \rightarrow \mu_{\max} \rightarrow \mu_{\min}$. Швидкість навчання: у межах 0.3 – 0.7.

Класифікація образів.

На рис. 3.4 пунктиром показана NN для класифікації вхідних сигналів від WS ($NNClass$). Завдання класифікації полягає в розбитті сигналів WS на класи, причому в основі лежить вектор параметра WS . Класи формуються динамічно.

Підхід до такої класифікації полягає в тому, щоб з певного числа класів вибрати координати прототипів. Потім кожен вектор параметра WS зв'язується з найближчим до нього прототипом. Новими прототипами стають центроїди всіх векторів, пов'язаних з вихідним прототипом. Мірою близькості двох векторів виберемо евклідову відстань [135]:

$$d_E(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_i - y_i)^2} = \|x - y\|. \quad (3.18)$$

Для завдання класифікації використовуємо мережу Кохонена. Дана мережа самонавчається без вчителя на основі самоорганізації. У міру навчання вектора ваг нейронів стають прототипами класів – груп векторів навчальної вибірки. На етапі вирішення задачі мережа відносить пред'явлений образ до одного із сформованих класів. Мережа складається з одного шару нейронів. Число входів кожного нейрона n дорівнює розмірності вектора параметра об'єкта. Кількість

нейронів m співпадає з числом класів. Змінюючи кількість нейронів, можна динамічно змінювати кількість класів.

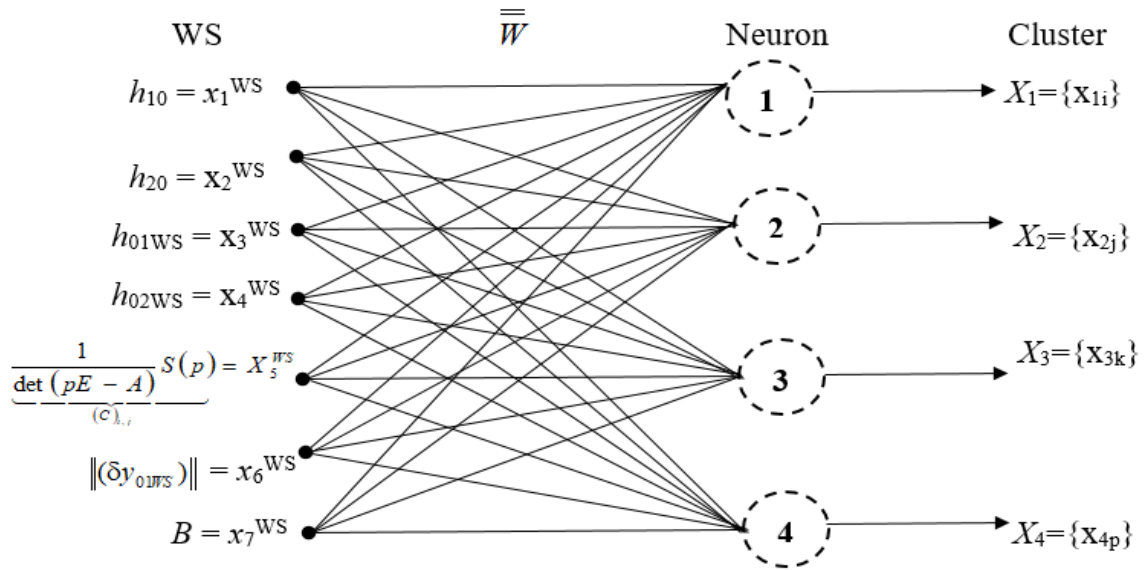


Рисунок 3.6 – Запропонована NNClass для класифікації сигналів від WS

У запропонованій NNClass (рис. 3.6) вихідні вектора в навчальній вибірці можуть бути як наявними, так і відсутніми, і вони не беруть участі в процесі навчання. При самонавчанні виходи не використовуються в якості орієнтирів при корекції синапсів. NNClass не має постійної структури. Залежно від знайденої відстані до нейрона-переможця цей нейрон використовується для кластеризації прикладу або для поданого на входи прикладу створюється новий кластер з відповідними ваговими коефіцієнтами. Крім того, в процесі самоорганізації структури окремі нейрони можуть виключатися з неї [135].

Алгоритм самонавчання NNClass [133].

Крок 1. Ініціалізація мережі.

$$R_{KP} = d_E(x, y)_{KP} = d_E(x, y)_{\max} : d_E(x, y)_{\max} \leq \sigma,$$

де σ – величина, яка визначає міру близькості для включення параметра в один кластер.

Умови:

1. $d(x, y) \geq 0 \quad \forall x \& y.$
2. $d(x, y) = 0 \quad \exists ! x = y.$
3. $d(x, y) = d(y, x).$
4. $d(x, y) \leq d(x, k) + d(k, y).$

Вагам $w_{ij}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$ присвоюються малі випадкові значення. Задається початковий темп навчання $\eta_0 = 0.9, \eta_{N+1} = \eta_N - 0.001$. Початкова структура не містить нейронів. При подачі на входи мережі самого першого прикладу навчальної вибірки створюється перший нейрон з ваговими коефіцієнтами, рівними поданим вхідним значенням.

Крок 2. Пред'явлення мережі нового вхідного сигналу.

На входи мережі подається новий випадково обраний приклад поточної епохи навчання, розраховуються евклідові відстані від прикладу до центру кожного кластера і визначається нейрон-переможець з найменшим з них R_{\min} .

$$R_j = \sqrt{\sum_{i=1}^M (\tilde{x}_i - w_{ij})^2}, \quad d(x, w_j) = \min_{1 \leq i \leq n} d(x, w_i) = R_{\min},$$

де n – кількість нейронів; j – номер нейрона-переможця; $d(x, w)$ – відстань між векторами x і w .

Виходи всіх нейронів рівні 0, крім одного нейрона-переможця, що має на виході *max* значення. Таким чином, вектор виходу має єдиний елемент, рівний 1. Номер активного нейрона визначає ту групу (кластер), до якої найбільш близький вхідний вектор. Нормування в *NNClass* визначається виразом:

$$x_{ni} = \frac{x_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_i^2}} = \frac{x_i}{|x_i|},$$

де x_{ni} – нормований компонент вхідного вектора.

Нормування вхідних даних позитивним чином впливає на швидкість навчання мережі.

Крок 3. Підстроювання ваг всіх нейронів і нейрона-переможця при $R_{\min} < = R_{\text{кр}}$. $w_{ij}^{N+1} = w_{ij}^N + \eta_{ij}^N [x_i - w_{ij}^N]$, де x_i – вхідний сигнал, N – номер циклу навчання, η_{ij}^N – коефіцієнт швидкості навчання i -го нейрона в N -му циклі навчання. Якщо умова $R_{\min} < = R_{\text{кр}}$ не виконується, то в структуру мережі додається новий нейрон, вагові коефіцієнти якого приймаються рівними вхідним значенням поданого прикладу.

Крок 4. Зменшення значень η_{ij}^N, R_j .

Крок 5. Кроки 2-4 повторюються поки ваги не стануть змінюватися. Після навчання класифікація виконується подачею на вхід мережі випробуваного вектора. Обчислюються відстані від нього до кожного нейрона з подальшим вибором нейрона з найменшою відстанню. Якщо протягом останньої епохи навчання будь-які кластери залишилися не задіяними, то такі нейрони виключаються зі структури мережі. При корекції вагових коефіцієнтів інших нейронів коефіцієнт швидкості навчання убиває зі збільшенням відстані R_j до центру кластера.

$$\eta_j = \eta_0 \left(1 - \frac{1}{1 + e^{-\beta(R_j - R_{KP})}} \right),$$

де $\beta = 3,0 \pm 0,5$ – параметр, який встановлює ступінь нелінійності впливу відстані на коефіцієнт швидкості навчання.

Слід зазначити, що при самоорганізації NNClass, що класифікує потік параметрів $h(t)$ від WS, виникають дві проблеми:

а) крім кластери виразу (3.13) містять дуже малу кількість прикладів, що може привести до труднощів при подальшій обробці інформації. Наприклад, кластери, пов'язані з нулем глибин, $h_{10}, h_{20}, h_{01WS}, h_{02WS}$;

б) з іншого боку, інші кластери виразу (3.13) містять дуже багато прикладів. Наприклад, кластери $\underbrace{\frac{1}{\det(pE - A)} S(p)}_{(C)_{i,j}}, B, \|(\delta y_{01WS})_{i,1}\|$. У цьому випадку

для регулювання розміру кластера і вирішення проблеми його переповненості задаємо в якості додаткового параметра граничне число прикладів $N_{\text{ГР}}$, які формують кластер. Якщо в якийсь момент виявляється, що новий приклад повинен бути віднесений до кластеру, розмір якого max , приймається АР про створення іншого кластера. Його центром є вектор змінних $\overline{N_{\text{ГР}} + 1}$, найбільш віддалений від даного кластера.

3.3. Використання нейромережевої експертної системи у структурі інтелектуальної обробки потоку даних від WS

У процесі дисертаційних досліджень проаналізовані характерні особливості цілісної системи мережі передачі потоку навігаційних даних від WS. Проблеми в мережі передачі потоку навігаційних даних впливають на достовірність отримання інформації. Проблема полягає і в тому, що канал підтримки мережі передачі даних є основною лінією передачі навігаційної інформації між WS та електронно-картографічною системою Inland ECDIS.

Завдання аналізу та діагностики мереж зведені до пошуку відхилень від нормального режиму функціонування – мережевих аномалій. Методи діагностики мережевих аномалій (сигнатурний, статистичний, *NN*, *ES*) представлені у роботі [59]. Порівняльний аналіз моделей діагностики мережевих аномалій приведений у додатку Ж. З аналізу методів випливає, що найбільш ефективними моделями діагностики мережевих аномалій при передачі потоку навігаційних даних з WS є *ES* і *NN*.

Процес функціонування *ES* можна представити таким чином:

- 1) оператор через інтерфейс надсилає запит до *ES*;
- 2) обчислювач рішень, користуючись базою знань, генерує і видає користувачеві відповідну рекомендацію, пояснюючи хід своїх міркувань за допомогою підсистеми пояснень. При цьому фіксується безліч наборів рішень, які досить далекі від точного рішення. Обчислюється значення функції «згоди» з рішенням. Далі безліч наборів рішень формує алгоритм. Алгоритм складається в послідовному виконанні ряду кроків до отримання рішення.

Застосування *NN* в *ES* являє собою зіставлення вхідної і вихідної інформації на основі певної функції. Ця функція виявляється мережею на етапі навчання і залишається невідомою користувачеві. Найважливішою особливістю такої мережі є можливість паралельної обробки інформації відразу всіма ланками *NN*, що значно прискорює інформаційні процеси. Здатність до навчання і узагальнення

накопичених знань є важливою властивістю NN в ES. Використання NN для діагностики стану мережі передачі даних від WS – це навчання NN розпізнавати всі аномальні стани. До корисних властивостей при використанні NN в ES можна віднести [57]:

- 1) вирішення задач при невідомих закономірностях між вхідними та вихідними даними. Тобто NN може визначити, які сигнали є неінформативними;
- 2) адаптацію до змін навколишнього середовища. NN, які навчені роботі в певному середовищі, також можуть бути легко навчені роботі в умовах незначних коливань параметрів, що надходять від WS.

В інформаційній системі обробки потоку навігаційних даних від WS, яка повинна оперативно виявляти мережеві аномалії, а також пропонувати можливі варіанти їх усунення, ефективним є сукупне використання методів ES і NN (ESNN). Така сукупність якостей дає NN і ES можливість формування *гібридної інтелектуальної системи* (нейромережеві динамічні ES). В ESNN замість бази знань використовується навчена NN. На відміну від звичайних ES, які засновані на знаннях, система такого типу може оперувати недостовірними і неповними даними. Знання проблемної області можуть бути використані при навчанні NN, а після навчання NN буде відігравати роль набору правил ЯКЩО-ТО – БАЗА ЗНАНЬ. Таким чином, штучні NN не використовують логіку. Для їх роботи не потрібне введення досвіду і вміння експерта. Вони наслідують процес навчання мозку людини для знаходження залежності між вхідними та вихідними даними. Це не задається розробником. Головним елементом таких систем є математична модель нейрона (рис. 3.3) [133]. Штучні нейрони групуються в певні структури, які піддаються навчанню з використанням набору даних. *ESNN* дозволяє *мінімізувати* недоліки моделей діагностики мережевих аномалій. Результатом об'єднання даних підходів є перевага перед іншими моделями діагностики.

Модель обчислень в ESNN полягає у наступному [71].

$$ES = \langle K^B, F^B, R^B, I^e, R^e \rangle, I^e = \langle I^{e1}, I^{e2}, I^{e3}, I^{e4} \rangle;$$

$$NN = \langle Ar, X, Y, M^n, Ed, I^{n1}, I^{n2} \rangle;$$

$$ESNN = \langle K^B, X, Y, Ed, R', I^{n1}, I^{n2} \rangle, \quad (3.19)$$

де K^B – база знань у формі правил; F^B – база фактів про систему Z ; R^B – база виводів; R^e – системоутворюючі відносини; I^e – інтерпретатор; I^{e1} – процес вибору з бази знань підмножини активних правил; I^{e2} – процес зіставлення з образом для активних правил; I^{e3} – процес розв'язання конфліктів правил; I^{e4} – процес виконання правил; Ar – архітектура NN; X, Y – множина входів і виходів NN; M^n – множина штучних нейронів; Ed – навчальна і тестуюча послідовність; I^{n1}, I^{n2} – інтерпретатори навчання і обчислення.

У такій ESNN зберігається база правил ES. Нова ESNN отримує новий набір системоутворюючих відносин R' . Для вилучення відповіді необхідно проводити опитування системи і виконувати обчислення. Вираз (3.19) дозволяє зберігати досвід системи в цілому в *неявному вигляді*. Для зберігання досвіду інтелектуальної системи в *явному вигляді* застосуємо модель ESNN, засновану на прецедентах (Pr) [71].

$$\begin{aligned} ES^p &= \langle K^{B1}, K^{B2}, A(p), I^p \rangle, \quad I^p = \langle I^{p1}, I^{p2}, I^{p3}, I^{p4} \rangle; \\ ESNN^p &= \langle K^B, K^{Bp}, A(p), R'', I^{np}, I^{n2}, I^p \rangle, \end{aligned} \quad (3.20)$$

де K^{B1}, K^{B2} – бази одиниць Pr і одиниць загальних знань про предметну область; $A(p)$ – алгоритм визначення схожих Pr ; I^p – інтерпретатор; I^{p1} – виявлення; I^{p2} – адаптація; I^{p3} – перегляд; I^{p4} – збереження; K^B, K^{Bp} – вихідні дані і Pr в системі бази даних; R'' – системоутворюючі відносини нової гібридної ІС; I^{np} – навчання NN шляхом пред'явлення Pr в якості тестових прикладів; I^{n2} – нейромережевий пошук рішень в новій системі.

Принцип побудови ESNN полягає у наступному. Складаються тести, відповіді на які мають бінарний вигляд, тобто «Так» або «Ні». При складанні «вектора опитування», якщо при діагностиці слідує відповідь «Так», то компоненту вектора присвоюється індекс «1», якщо «Ні», то – «0». Таким чином, вирішальне «дерево» (рис. 3.7) може бути записане у вигляді трьох векторів.

Наприклад: $\{\dots, 1, 1, 0, \dots\}$, $\{\dots, 1, 0, 1, \dots\}$ і $\{\dots, 0, \dots\}$. Перші два записи (вектори) передають наступний сенс: ЯКЩО.

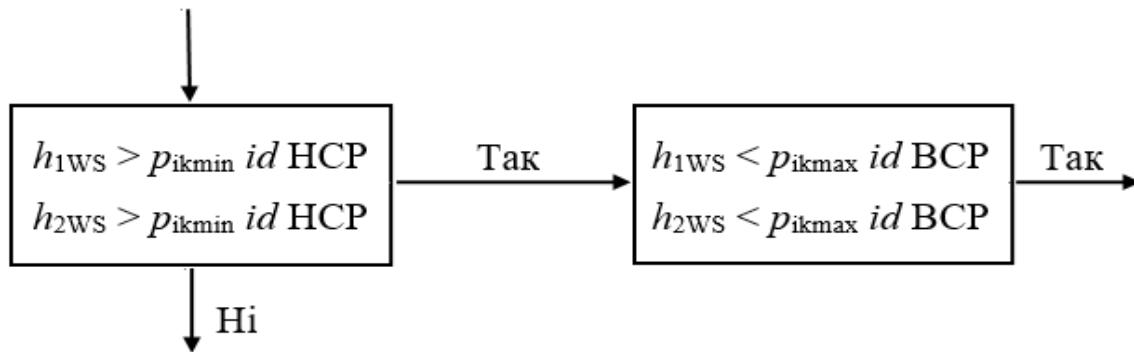


Рисунок 3.7 – Частина вирішального дерева

Аналогічно можна побудувати вектор вихідних значень, керуючись тим же правилом, що і для вхідних значень. Якщо на виході NN, відповідному якомусь діагностуванню, отримуємо 1, то на дане діагностування слід звернути увагу, так як воно може бути причиною помилки.

Представлення знань, сформованих експертом [100, 125]

$$3.20 \Rightarrow (rule)_j : \left(P^j, \tilde{K}^j, w^j, CF^j, G^j \right) : (rule)_j \text{ id } R_j, \quad (3.21)$$

де $P^j = \{P_i^j\}$ – множина параметрів з обмеженнями в умовах правила R_j ;

$\tilde{K}^j = \left\{ \tilde{K}_i^j \right\}$ – множина нечітких обмежень на параметри множини P^j – нечітких

умов антецедента правила R_j ;

$w^j = \{w_i^j\}$ – вага нечітких обмежень \tilde{K}^j на параметри P^j ;

CF^j – ступінь достовірності сформованого правила R_j – ступінь впевненості в універсальності експерта (Certainty Factor);

$G_j \in G$ – технологія, рекомендована до застосування.

Вираз (3.21) представимо в наступному вигляді:

Правило R_j

ЯКЩО $P_1^j \in \tilde{K}_1^j(w_1^j)$ I

$P_2^j \in \tilde{K}_2^j(w_2^j)$ I

...

$P_n^j \in \tilde{K}_n^j(w_n^j)$

ТО $G_j [CF^j]$.

Вага w_i^j нечітких обмежень \tilde{K}_i^j антецедента правила R_j визначають важливість обмежень \tilde{K}_i^j у правилі. На відміну від звичайних NN, в моделі (3.21) є параметри w_i^j і CF^j . Це надає правилам велику гнучкість при вирішенні практичного завдання отримання достовірних навігаційних даних від WS.

Принцип роботи моделі (3.21) полягає в аналізі вхідних даних, формуванні інтегральних зважених оцінок здійсненності кожного правила і виборі оптимального рішення.

Нейронечітка модель формування баз даних ESNN [57].

Розроблена модель (рис. 3.8) реалізує алгоритм нечіткого логічного виводу на моделі (3.21) і визначає число шарів нейронної мережі і їх функціональність. Структура мережі залежить від кількості вхідних, вихідних параметрів, числа градацій у шарах NN. Характеристичні елементи ESNN показані в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Елементи побудови ESNN

Кількість шарів	Нульовий шар	Прихований шар	Вихідний шар	<i>NNClass</i>
4	1 6 <i>P</i> -нейронів	3 Шар <i>K</i> – 6 нейронів Шар <i>I</i> – 9 нейронів Шар <i>Eval</i> – 9 нейронів	1 Шар <i>G</i> – 3 нейрона	1

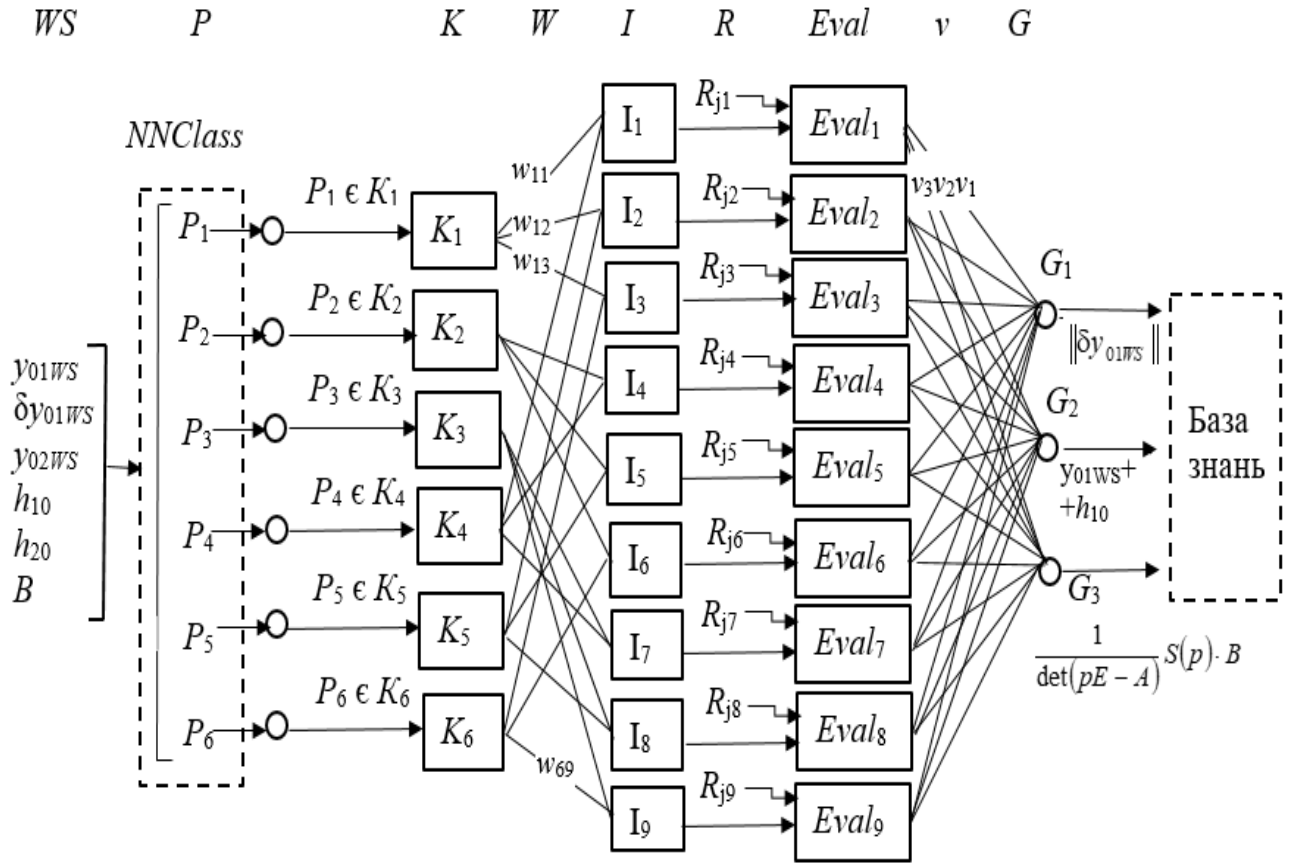


Рисунок 3.8 – Формування бази знань ESNN при обробці даних від WS

Нечітка ESNN (рис. 3.8), розроблена для діагностики мережевих аномалій при обробці потоку даних від WS, має шість входів і три виходи. У нульовому шарі ESNN міститься шість P - нейронів У першому шарі міститься шість K - нейронів, які моделюють нечіткі градації у вигляді « $P \in K_i$ ». Другий шар містить дев'ять I - нейронів, які задають нечіткі виходи у вигляді «ЯКЩО $P_1 \in K_1$ І $P_2 \in K_2$ ТО G_j ». Третій шар складається з дев'яти $Eval$ – нейронів (evaluation – оцінка), на виході яких розраховуються комплексні оцінки спрацьовування правил. Вага v визначає ступінь достовірності CF^j сформованого правила R_j (добуток виходів $Eval$ – нейронів на їх вагу v). У четвертому шарі міститься три нейрони (на виході обчислюються оцінки достовірності рішення).

На рис. 3.8 показана NN для класифікації вхідних сигналів від WS (NNClass). Функціонування NNClass детально розглянуто в підрозділі 3.2 дисертації.

Для отримання системи правил і формування бази знань ESNN необхідно провести навчання. За результатами навчання проводиться налаштування

параметрів \tilde{K}_i . Порядок проведення навчання показаний на рис. 3.5, у таблиці 3.6, із застосуванням виразів (3.14 – 3.17) [57].

Для кодування і декодування параметрів від WS під час навчання нечіткої NN задаємо параметричну функцію трикутної форми (рис. 3.9).

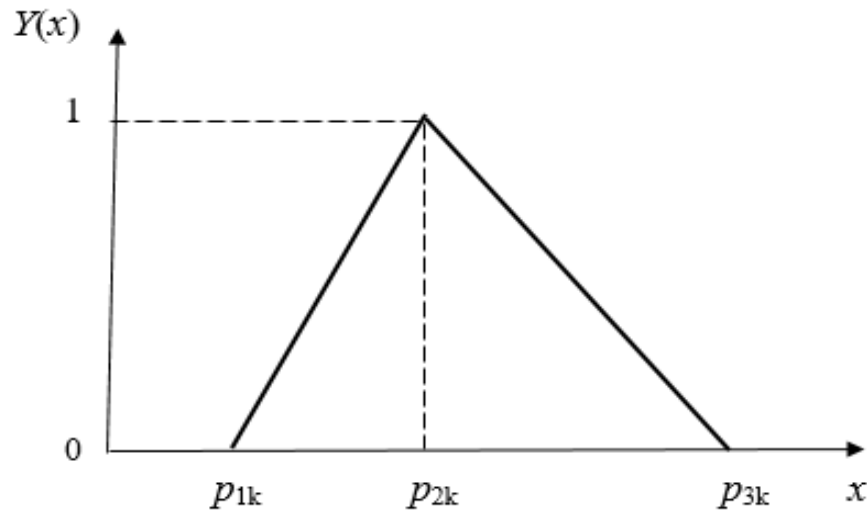


Рисунок 3.9 – Параметрична функція трикутної форми

Налаштування складових p_{ik} вектора $\bar{p}_k = (p_{1k}, p_{2k}, p_{3k})$ здійснюється в інтервалі $\Delta = [p_{ikmin}, p_{ikmax}]$: p_{ikmin} id НСР, p_{ikmax} id ВСР. Далі Δ розбиваємо на N підінтервалів

$$N = \frac{2 \cdot (h_2 - h_1)}{m_{z0}} \Rightarrow p_{ikmin} \text{ id } cod \ 0, \ p_{ikmax} \text{ id } cod \ 1, \quad (3.22)$$

де $h_2 - h_1$ – різниця перевищень миттєвого рівня між WS;

m_{z0} – загальна погрішність глибини, показаної на карті.

СКП виходу нечіткої NN

$$M = \frac{1}{2}(\Delta y)^2, \quad (3.23)$$

де $\Delta y = y - y_0$ – абсолютна помилка вихідного нейрона; y_0 – потрібне значення виходу.

Операція декодування є інверсною по відношенню до операції кодування.

Таким чином, вирішена задача вибору гнучкої нечітко-нейронної моделі представлення знань і розробки нечіткої NN, що дозволяє в результаті навчання формувати базу знань ES правилами, представленими у формі нечітких висновків.

Для обробки потоків даних, включаючи обробку потоку даних від WS, розроблена інтелектуальна $ESNN^P$, що заснована на Pr (рис. 3.10) [57].

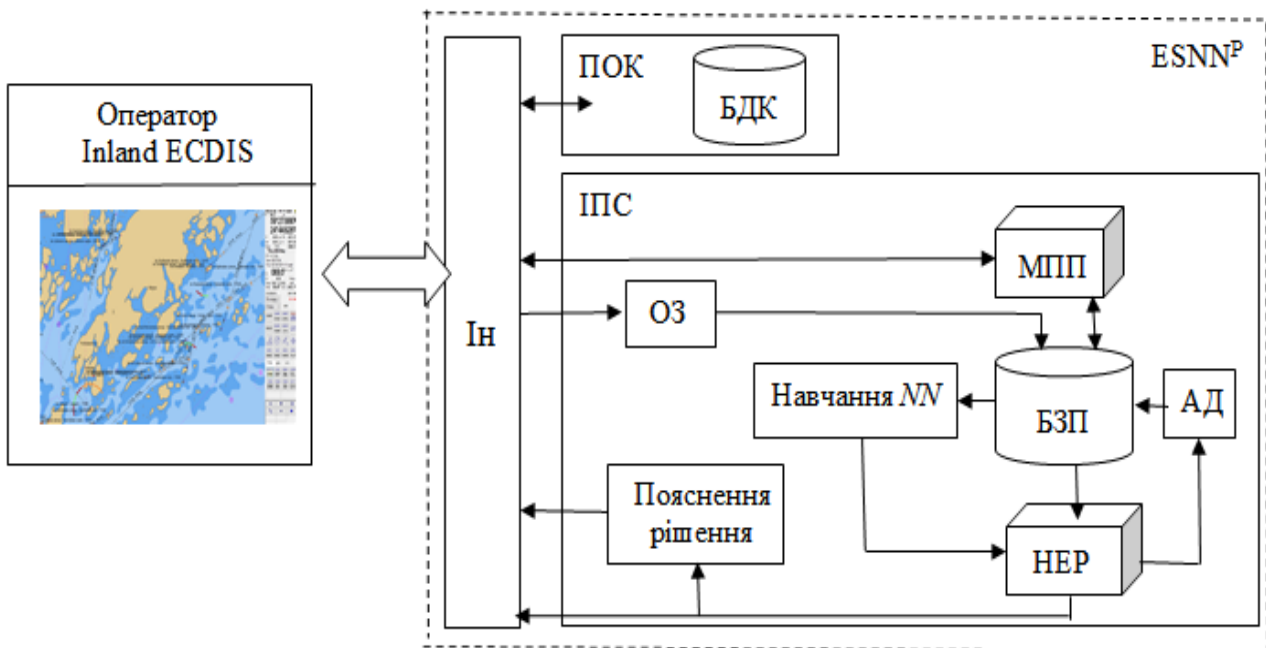


Рисунок 3.10 – Структура $ESNN^P$ у системі автоматизованого відображення фактичних глибин

Система складається з інтелектуальної підсистеми (ІПС) і підсистеми обслуговування кластерів (ПОК), робота яких контролюється інтегратором (Ін). ПОК включає базу даних кластерів (БДК).

ІПС включає базу знань Pr (БЗП), модуль отримання знань (ОЗ), механізм пошуку Pr (МПП), нейро-експертний механізм отримання рішення (НЕР), блоки адаптації даних (АД) і пояснення рішення.

3.4. Структурні та диференціальні символні перетворення об'єктів зовнішнього середовища у системі відображення фактичних глибин на електронній карті

Слід зазначити, що існуючі правила введення поправок судноводієм до глибин, які позначені на SENC, полягають у наступному:

$$\overline{WS}_n^{(agr)} \xrightarrow{\{h_1, h_2 \dots h_n\}} \overline{RIS}_1 \xrightarrow{\{h_1, h_2 \dots h_n\}} \overline{CE} \xrightarrow{\overline{OI}} \overline{RIS}_2 \xrightarrow{F\{h_1, h_2 \dots h_n\}} \overline{nav} \xrightarrow{man} \overline{SENC}, \quad (3.24)$$

де $\overline{WS}_n^{(agr)}$ – миттєві рівні води $\{h_1, h_2 \dots h_n\}$ по WS_n в абсолютній системі висот, що надходять за договором *agr* (agreement) від гідрометеослужби до RIS на 08-00 кожної доби;

n – кількість *WS* гідрометеослужби;

\overline{RIS} – обробка миттєвих рівнів води $\{h_1, h_2 \dots h_n\}$ по WS_n в абсолютній системі висот і передача до картографічного підприємства *CE* (cartographic enterprise);

\overline{CE} – надання до RIS оброблених рівнів води по *WS* в абсолютній системі висот у вигляді оперативної інформації \overline{OI} (operational information) по фарватеру *F* (fairway) (додаток 3);

\overline{RIS}_2 – розміщення на Web-сайті *RIS* оперативної інформації \overline{OI} від *CE*;

\overline{nav} – отримання судноводієм *nav* (navigator) миттєвого рівня води по *WS* з Web-сайту *RIS*, обчислення і нанесення поправок до глибин на SENC вручну *man* (manually);

\overline{SENC} – відображення фактичних глибин на SENC.

Недоліки чинної системи відображення глибин на SENC детально проаналізовані у першому розділі дисертації (підрозділ 1.3). Так, існуючі правила введення поправок судноводієм до глибин, які позначені на SENC:

- а) не дозволяють створити умови для впровадження сучасної навігації;

б) не відповідають вимогам щодо оперативності, точності при діючому візуальному (лоцманському) методі навігації;

с) WS_n функціонують під контролем іншого відомства (гідрометеослужби), у зв'язку з чим визначення показань миттєвого рівня води по WS істотно розрізняються (для цілей гідрологічних робіт і судноводіння). Це, в першу чергу, знижує ймовірність безпечного плавання по ВВШ.

Запропоновані правила автоматизованого введення поправок до глибин на SENC мають суттєві відмінності від діючих і полягають у наступному:

$$\overline{WS}_m^{(nav)} \xrightarrow{\overline{DS}} \overline{aut\ h(t)\ SENC} \vee \overline{WS}_m^{(nav)} \xrightarrow{\overline{DS}} \overline{RIS} \xrightarrow{h(t)} \overline{aut\ h(t)\ SENC}, \quad (3.25)$$

де $\overline{WS}_m^{(nav)}$ – WS для судноводіння nav (navigation);

m – кількість WS для nav ;

\overline{DS} – потік даних (data stream) від $\overline{WS}_m^{(nav)}$. $\{\overline{y}_{01}, \overline{y}_{02}, \overline{\delta y}_{01}, \overline{h}_{10}, \overline{h}_{20}, \overline{B}\} \in \overline{DS}$

відповідно до виразів (2.27, 2.28) і рис. 3.4;

$\overline{aut\ h(t)\ SENC}$ – автоматизований aut (automated) показ глибин $h^{chart} + h(t)$ на SENC Inland ECDIS;

\overline{RIS} – розрахунок $h(t)$ відповідно до виразу 2.28 і передавання до SENC Inland ECDIS (при другому варіанті).

Аналіз виразу (3.25) вказує на необхідність структурних та диференціальних символічних перетворень St (symbolic transformations) об'єктів SENC Inland ECDIS & $WS \rightarrow \overline{WS}_m^{(nav)}$.

St для SENC Inland ECDIS детально викладені в підрозділі 2.5 дисертації.

Розглянемо $St\ WS \rightarrow \overline{WS}_m^{(nav)}$.

Слід зазначити, що для вирішення цієї складної проблеми проводяться дисертаційні дослідження за темою «Структурне моделювання та диференціальні символічні перетворення системи відображення фактичних глибин на електронній карті», затвердженою вченою радою ДУІТ (протокол від 08.12.17 № 1).

3.4.1. Генерування множини альтернатив у системі символічних перетворень об'єктів зовнішнього середовища

Використання існуючих WS передбачає невирішеність цілого ряду проблем. Функціонування WS під контролем іншого відомства (гідрометеослужби) унеможливорює подальше їх використання в інтересах судноплавства на ВВШ.

1) За визначенням WS є місце на акваторії або на березі водного об'єкта, де проводяться гідрологічні спостереження з метою отримання безперервних записів стоку і витрати води або вимірювання рівня ґрунтових вод. Оптимальна точність вимірювання рівня води залежить від завдання вимірювання. Так, відносна похибка вимірювання рівня води для визначення ємності водосховища повинна становити 0,2 – 1,5 %, для врахування стоку води (витрати через турбіни ГЕС) – 0,26 %, для розрахунку водного балансу 0,01 – 0,2 %. У цілому точність вимірювання рівня води становить ± 2 см. З урахуванням того, що на ВВШ України відліки WS здійснюються візуальним способом, то точність може досягати до ± 10 см [80]. Одночасні спостереження на такого роду WS дають можливість встановити тільки приблизну емпіричну залежність між змінами горизонтів і глибин води в різних ділянках річки. Неможливо визначити зміни поверхневих уклонів потоку в залежності від змін горизонтів води. Розрахунки рівнів води за такими WS не можуть служити підставою для будь-яких точних розрахунків в судноводінні.

2) Інформація від WS надходить тільки на 08-00 кожної доби. Тим самим не забезпечується безперервність потоку миттєвих рівнів води з урахуванням нанесення поправок $h(t)$ судноводіями до глибин, позначених на SENC.

3) WS розташовані відповідно до їх цільового призначення таким чином, щоб при їх невеликій кількості можна було забезпечити досить повне вивчення гідрологічного режиму басейну в цілому. WS встановлюють через 50-80 км, найчастіше нижче гирла притоки на відстані не менш п'ятикратної ширини річки.

4) Існуючі дистанційні WS передають безперервно (або у визначені терміни) показання рівнеміра на відстань. Призначення: для диспетчерської

служби на ГЕС, шлюзах, водосховищах. У каналі зв'язку використовується електропровідний зв'язок, а в установлених автоматичних постах у віддалених і важкодоступних районах – радіозв'язок (рис. 3.11).

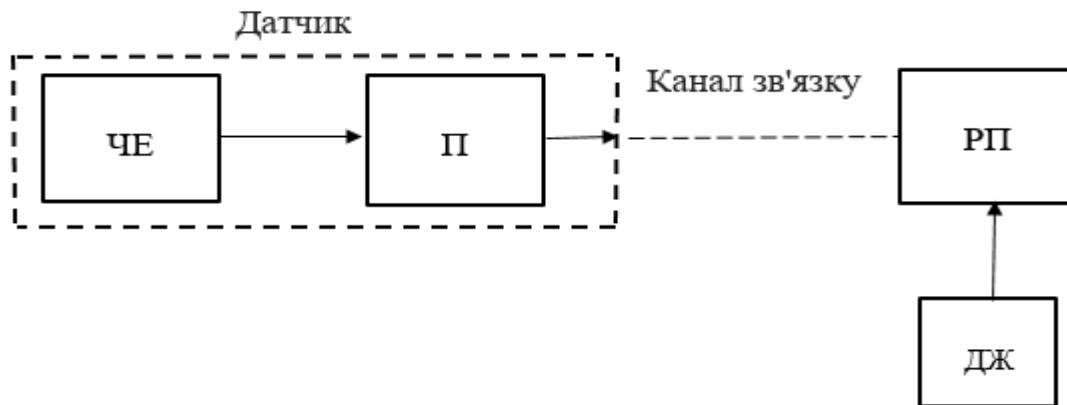


Рисунок 3.11 – Структурна схема дистанційного WS

Пояснення до схеми (рис. 3.11): ЧЕ – чутливий елемент, П – перетворювач, РП – реєструючий пристрій, ДЖ – джерело живлення.

Канал зв'язку не відповідає Міжнародному стандарту «Сповіднення судноводіїв для внутрішнього судноплавства» (док. ДК/СЕС 66/15). Додаток 1 стандарту містить перелік WS, які застосовуються у внутрішньому судноплавстві, а також їхні базові дані.

Слід зазначити, що в даний час відсутні загальні стандарти кодування інформації про рівень води (наприклад, Німеччина використовує «gleichwertiger Wasserstand» – Glw («Рівнозначний рівень»), Дунайська комісія рекомендує використання «Regulierungs Niederwasser» («Низького судноплавного і регуляційного рівня»), який визначається інакше. У більшості випадків висота під мостами дається від рівня високої води (іноді і від рівня низької води).

Дані існуючих на ВВШ України WS наводяться до спеціального базового рівня – Балтійської системи відліку (БС). Тому інформацію про рівень води можна використовувати в річкових електронно-картографічних системах для автоматичного розрахунку висоти під мостами.

Така система WS повинна бути замінена / доповнена обладнанням $\overline{WS}_m^{(nav)}$:
 $St WS \rightarrow \overline{WS}_m^{(nav)}$.

Можливі альтернативи.

$$a) \overline{WS}_m^{(nav)} \xrightarrow{\overline{DS}} \overline{AIS}^{coast} \xrightarrow{form\overline{DS}} \overline{AIS}^{ves} \xrightarrow{form\overline{DS}} \overline{IE} \xrightarrow{aut\ h(t)} \overline{SENC} \xrightarrow{h_{CHART}+h(t)} depth\ \overline{SENC}, \quad (3.26)$$

де \overline{AIS}^{coast} – берегова (coast) станція AIS;

$form\overline{DS}$ – потік даних від $\overline{WS}_m^{(nav)}$ у форматі Міжнародного стандарту ЄЕК ООН;

\overline{AIS}^{ves} – суднова (vessel) станція AIS;

\overline{IE} – Inland ECDIS;

$depth\ \overline{SENC}$ – aut-зображення фактичних глибин на SENC.

$$b) \overline{IR} \rightarrow \overline{RAC} \rightarrow \overline{WS}_m^{(nav)} \xrightarrow{\overline{DS}} \overline{AIS}^{coast} \xrightarrow{form\overline{DS}} \overline{AIS}^{ves} \xrightarrow{form\overline{DS}} \overline{IE} \xrightarrow{aut\ h(t)} \overline{SENC} \xrightarrow{h_{CHART}+h(t)} depth\ \overline{SENC}, \quad (3.27)$$

де \overline{IR} – річкова радіолокаційна станція (Inland radar);

\overline{RAC} – радіолокаційний маяк-відповідач (RACON);

$$c) \overline{WS}_m^{(nav)} \xrightarrow{form\overline{DS}} \overline{IE} \xrightarrow{aut\ h(t)} \overline{SENC} \xrightarrow{h_{CHART}+h(t)} depth\ \overline{SENC}. \quad (3.28)$$

$$d) \left. \begin{array}{l} \overline{RIS} \\ \overline{WS}_m^{(nav)} \\ \overline{AIS} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \xrightarrow{form\overline{DS}} \overline{AIS}^{coast} \xrightarrow{form\overline{DS}} \overline{AIS}^{ves} \xrightarrow{form\overline{DS}} \overline{IE} \xrightarrow{aut\ h(t)} \\ \xrightarrow{aut\ h(t)} \overline{SENC} \xrightarrow{h_{CHART}+h(t)} \overline{SENC} \end{array} \right. \quad (3.29)$$

де $\left. \begin{array}{l} \overline{RIS} \\ \overline{WS}_m^{(nav)} \\ \overline{AIS} \end{array} \right\}$ – функціонування RIS щодо системи збору, аналізу і передачі потоку

даних \overline{DS} .

Переваги та недоліки кожної альтернативи показані в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Переваги та недоліки альтернатив передачі потоків даних \overline{DS}

Альтернатива (вираз)	Складові (кількість)	Переваги	Недоліки
3.26	6	Висока точність $\overline{WS}_m^{(nav)}$. Безперервність потоку даних. <i>Aut depth SENC</i> . Не потрібна додаткова підготовка судноводіїв. Економія часу при несенні навігаційної вахти.	Велика кількість складових. Низька економія ресурсу $\overline{WS}_m^{(nav)}$.
3.27	8	Висока точність $\overline{WS}_m^{(nav)}$. Безперервність потоку даних. <i>Aut depth SENC</i> . Передача даних за запитом. (економія ресурсу $\overline{WS}_m^{(nav)}$). Економія часу при несенні навігаційної вахти.	Велика кількість складових. Потрібна додаткова підготовка судноводіїв.
3.28	4	Висока точність $\overline{WS}_m^{(nav)}$. Безперервність потоку даних. <i>Aut depth SENC</i> . Невелика кількість складових. Не потрібна додаткова підготовка судноводіїв. Економія часу при несенні навігаційної вахти.	Низька економія ресурсу $\overline{WS}_m^{(nav)}$.
3.29	6	Висока точність $\overline{WS}_m^{(nav)}$. Безперервність потоку даних. <i>Aut depth SENC</i> . Не потрібна додаткова підготовка судноводіїв. Економія часу при несенні навігаційної вахти.	Велика кількість складових. Низька економія ресурсу $\overline{WS}_m^{(nav)}$.

З аналізу таблиці випливає, що $\overline{WS}_m^{(nav)}$ є основним елементом такої системи.

При цьому, повинні виконуватися наступні умови.

Аналогово-цифрове перетворення відліків WS має містити 3 фази: дискретизацію за часом, квантування за рівнем, цифрове кодування.

а. *Дискретизація за часом.* З безперервного сигналу від WS $x(t)$ формується послідовність відліків $y(T_i) = y(n \cdot \Delta t)$. Відновлення вихідного сигналу за відліком

WS визначимо теоремою Котельникова, через яку між частотою квантування $f_{кв}$ і максимальною частотою спектра сигналу $f_{гр}$ виконується співвідношення

$$f_{кв} > 2f_{гр} \Rightarrow \Delta t \leq \frac{1}{2f_{гр}} \vee f_{кв} \approx 10 \cdot f_{гр}.$$

Аналогове цифрове перетворення сигналів від WS в графічній формі показано на рис. 3.12.

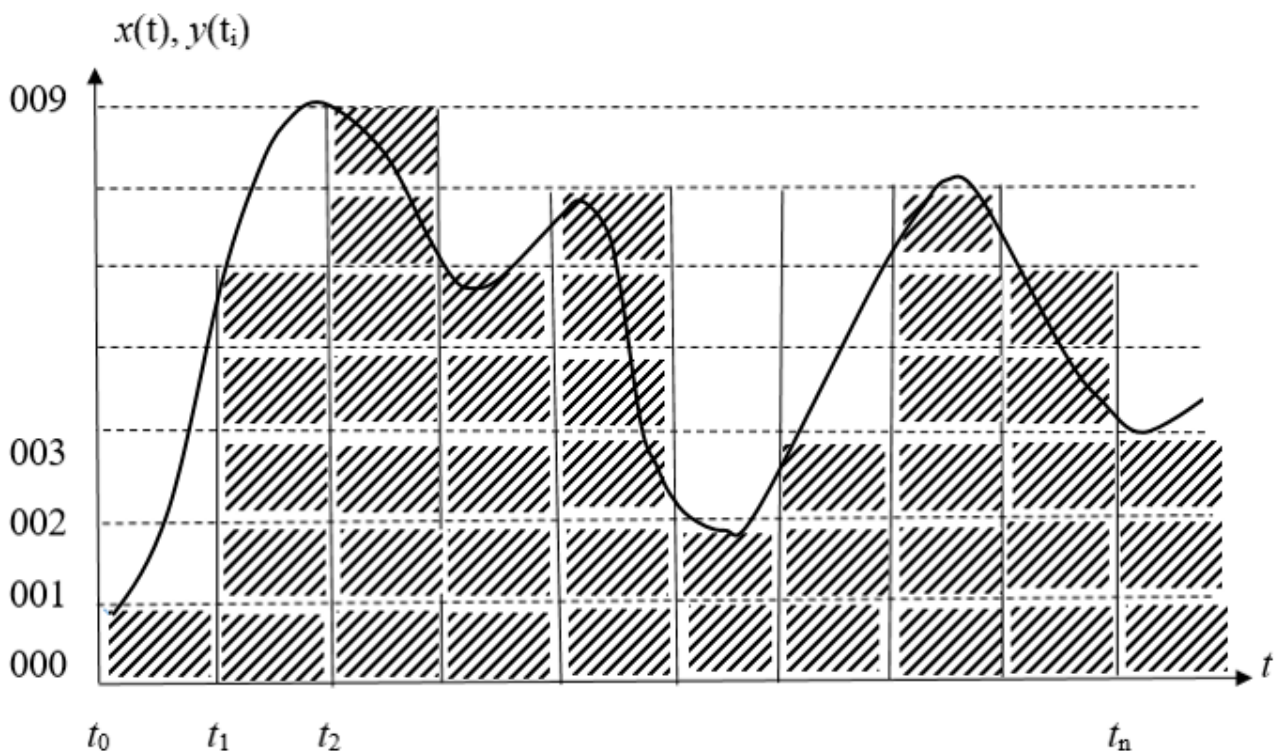


Рисунок 3.12 – Аналогове цифрове перетворення сигналів від WS

б. *Квантування за рівнем.* Округлимо значення відліку по WS до найближчого рівня квантування. Весь діапазон значень вимірюваних рівнів води [НСР ід x_{\min} , ВСР ід y_{\max}] розіб'ємо на рівні інтервали (рис. 3.12). Дійсні та дискретні значення відліків WS відрізняються на крок квантування Δx , який вибирається в межах допустимої похибки вимірювання δx . При такій рівномірній шкалі квантування крок часу t_1 відповідає x_1 , t_2 — x_2 і так далі. Використання логарифмічних та інших шкал квантування недоцільне. Необхідність використання логарифмічного закону зміни миттєвих рівнів води по WS

відсутня. Слід враховувати, що при квантуванні виникає затримка нульового рівня $\tau_0 = \frac{\Delta t}{2}$, яку необхідно враховувати.

с. Кодування відліків *WS* здійснюється у двоїчному або двоїчно-десятковому коді. Для цього дискретні значення $x_1, x_2 \dots x_n$ надаються у вигляді послідовності цифрових кодів: $x_0 - 001, x_1 - 005, x_2 - 009$ і т. д.

Переваги наведеного аналогово-цифрового перетворення відліків *WS*: висока завадостійкість, простота передачі на відстань. Помилки методу: затримка нульового рівня $\tau_0 = \frac{\Delta t}{2}$, помилка квантування.

$$\varepsilon_{кв} = 0,5 \cdot \Delta_{кв}, \Delta_{кв} \cdot 2^N = S, \quad (3.30)$$

де S – діапазон вхідної величини; N – кількість розрядів у коді.

3.4.2. Розв'язування задачі розміщення *WS* для отримання оптимального потоку навігаційних даних

Для розв'язування задачі визначимо межу дії *WS*, яка характеризується відстанню [80]

$$d = [WS_n, WS_{n+1}] : \Delta h_n = h_n - h_{n+1} \leq \delta_z, \quad (3.31)$$

де $h_n - h_{n+1}$ – різниця висот миттєвого рівня води по WS_n і WS_{n+1} ;

δ_z – задана величина (допустима похибка).

Відстань d між WS_n і WS_{n+1} визначатимемо відповідно до правил, викладених у [80].

$$d = \frac{\delta_z}{\Delta h_m} S_{AB} = \frac{\delta_z}{h_B - h_A} S_{AB}, \quad (3.32)$$

де h_A, h_B – висоти миттєвого рівня води на постах А і В відносно середнього рівня у момент часу t .

При цьому повинні виконуватися наступні умови.

- a. Судновий хід на ВВШ розділяється на ділянки між судноплавними шлюзами. WS встановлюються на верхніх і нижніх б'єфах шлюзів (WS_i^{BB} & WS_i^{HB}).
- b. За виразом (3.32) визначається d_i відносно WS_i^{BB} & WS_i^{HB} .
- c. За розрахунками d_i визначаються місця розміщення WS .
- d. $S_{AB} \leq d_{AB}$.
- e. При розміщенні WS враховується розчленованість берега, рельєф дна, згінно-нагінні явища, доступність обслуговування.

Висновки по РОЗДІЛУ 3

1. Застосовані критерії інтелектуальної обробки потоків навігаційних даних від WS , що використовують різні аспекти і базуються на деякій сукупності проблемних областей. Обрані моделі оптимальної альтернативи в умовах невизначеності та ризику для прийняття автоматизованого рішення. Визначена оптимальна стратегія їх вибору. Застосовані метод нормалізації, ваговий метод і метод згортки. Складений перелік інформаційних ситуацій при передачі даних від WS . Отримана математична модель області значень функцій даних, що надходять від WS .

2. Для вирішення складного завдання автоматизації отримання диференційних поправок до глибин використані гібридні нечіткі нейронні мережі. Застосовані функції активації нейронів. Застосування нейронних мереж здійснювалося шляхом розв'язання процедури класифікації вхідних сигналів, зростання або зменшення значень диференційних поправок до глибин, розпізнання інформації, що надходить від WS .

3. Запропоновані етапи побудови багатокритеріальних моделей з визначенням оцінок варіантів автоматизованого вирішення та виявлення системи пріоритетів вхідних сигналів. Обчислення вихідного вектора зведено до матричного множення. При навчанні застосованих нейронних мереж використаний метод обчислення зворотного поширення помилки.

4. Розроблена нечітка нейронна мережа для класифікації вхідних сигналів від WS. Вирішення завдання класифікації полягало в розбитті сигналів WS на динамічні класи і подальшому виборі координат прототипів. Мірою близькості двох векторів обрана евклідова відстань. Для класифікації використана мережа Кохонена, яка самонавчається без вчителя на основі самоорганізації. Розроблений алгоритм самонавчання мережі.

5. Побудована нейромережева експертна система у структурі інтелектуальної обробки потоку даних від WS. Проведений порівняльний аналіз моделей діагностики зведений до пошуку відхилень від нормального режиму функціонування – мережевих аномалій. Сукупне використання методів експертної системи і нейронної мережі дозволяє оперативно виявляти мережеві аномалії, пропонувати можливі варіанти їх усунення, використовувати навчену нейронну мережу замість бази знань. Побудована модель обчислень при сукупному використанні методів експертної системи і нейронних мереж. Розроблена нейронечітка модель формування баз даних реалізує алгоритм нечіткого логічного виводу, визначає число шарів нейронної мережі і їх функціональність. Визначений порядок проведення навчання мережі. Представлені знання, сформовані екпертом.

6. Розроблена інтелектуальна експертна нейронна мережа, що заснована на прецедентах. Таким чином, вирішена задача вибору гнучкої нечітко-нейронної моделі представлення знань і розробці нечіткої нейронної мережі, що дозволяє в результаті навчання формувати базу знань експертної системи правилами, представленими у формі нечітких висновків.

7. Запропоновані структурні та диференціальні символні перетворення об'єктів зовнішнього середовища у системі відображення фактичних глибин на електронній карті. Проаналізовані існуючі правила введення судноводієм поправок до глибин, які позначені на SENC. Визначені недоліки чинної системи. Запропоновані правила автоматизованого введення поправок до глибин на SENC при сучасному рівні річкової е-навігації. Проведений аналіз множини альтернатив у системі символних перетворень об'єктів зовнішнього середовища. Розглянуті

переваги та недоліки альтернатив передачі потоків даних від WS. Запропоновані можливі альтернативи. Розроблена модель аналогово-цифрового перетворення відліків WS.

8. Вирішена задача розміщення WS для отримання оптимального потоку навігаційних даних. Запропоноване математичне обґрунтування розрахунку межі дії WS. Складений алгоритм розміщення WS на ВВШ.

РОЗДІЛ 4

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ МЕТОДІВ І ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ

4.1. Програма експериментальних досліджень запропонованих методів

Програма експериментальних досліджень базується на запропонованих методах ефективної обробки потоку навігаційних даних від зовнішнього середовища до електронно-картографічної системи при експлуатації водного транспорту в умовах інструментального методу навігації (річкової е-навігації). Програма характеризується надмірністю взаємозв'язків між багатьма складовими.

Місце проведення досліджень:

Державний університет інфраструктури та технологій, кафедра технічних систем і процесів управління в судноводінні;

Центр підготовки фахівців морського та річкового транспорту «Укрводшлях – Training»;

судно «Vectis», Південне річкове пароплавство – Southern river shipping company.

Задача проведення досліджень

Шляхом імітаційного моделювання на УТЦ та вибіркової перевірки на судні виконувалися 2 види робіт:

- розв'язання експлуатаційних завдань за допомогою Inland ECDIS (система відтворення річкових електронних карт SeeMyENC);
- фіксування відповідних показників потоку навігаційних даних від WS при використанні електронно-картографічних засобів.

Вибір і обґрунтування акваторії, регіону експлуатаційного обслуговування.



Рисунок 4.1 – Нарізка Inland ENC р. Дніпро

На підставі аналізу навігаційно-гідрографічної інформації та картографічного забезпечення безпеки судноплавства на р. Дніпро розроблений модульний принцип формування типових ділянок, де в якості модулів обрані реальні складні ділянки судноплавства, відповідні зоні зображення Inland ENC. Обрані й обґрунтовані акваторії, включаючи протяжність і складність ділянок, сформовані з урахуванням діючих нормативів по навігаційно-гідрографічній і гідрологічній забезпеченості (рис. 4.1).

Технічні засоби вимірювання імітаційного модулювання

Для проведення робіт з імітаційного модулювання запропонованих методів при проведенні дисертаційних випробувань використовувалися:

тренажери кафедри технічних систем і процесів управління в судноводінні;

тренажер Inland ECDIS (SeeMyENC) Центру підготовки фахівців морського та річкового транспорту «Укрводшлях – Training»;

судно «Vectis»;

судноводії, що проходять тренажерну підготовку з експлуатації електронної картографічної навігаційно-інформаційної системи.

Таблиця 4.1 – Критерії для інтелектуальної обробки потоків навігаційних даних від WS

№	Критерії	Позначення
1	2	3
1	Довжина ділянки	D_{CXi}
2	Ширина ділянки	B_{CX}
3	Критичні фактори, що визначають обмеження для руху ВТЗ щодо габаритів суднового ходу	V_1
4	Гарантована глибина	H_{CX}
5	Критичні фактори, що визначають обмеження для судноплавства щодо глибин суднового ходу	V_3
6	Відстань до найближчої навігаційної небезпеки	D_{min}
7	Висота моста над фактичним рівнем води	H_{MC}
8	Критичні фактори, що визначають обмеження для судноплавства щодо габаритів мостів	V_6
9	Найменша відстань проводів повітряних ліній від фактичного рівня води	$H_{ЭП}$

1	2	3
10	Критичні фактори, що визначають обмеження для судноплавства щодо висоти проводів повітряних ліній електропередачі	V_7
11	Довжина/ширина/осадка/висота надводного габариту судна	$L_M / B_M / H_M / H_{HG}$
12	СКП визначення місця судна в точці найкоротшої відстані до найближчої навігаційної небезпеки	M
13	Ймовірність безпечного плавання	$P_{\text{он}}$
14	Критичні фактори, що визначають обмеження для руху ВТЗ щодо габаритів суднового ходу	V_I
15	Взаємозв'язок НОН і БОН у зоні дії WS	$S_{\text{НОН}}(t), S_{\text{БОН}}(t)$
16	Точність вимірювання і нанесення глибин на карту	m_{z0}
17	Різниця перевищень миттєвого рівня між постами	h_2-h_1
18	Матрична передаточна функція потоку даних від водомірних постів	$y_k(t)$
19	Миттєвий рівень води відносно ІВП	δy_{01WS}
20	Диференціальні поправки під час обробки потоку даних від WS	$h(t)$
21	Моделі оптимальної альтернативи в умовах <i>vag</i>	Модель 1 (3.3). Модель 2 (3.4). Модель 3 (3.5)
22	Перелік інформаційних ситуацій, пов'язаних з <i>vag</i>	IS_n $n = 1, 2, \dots, 5$
23	Нижній і верхній судноплавний рівень	НСР, ВСР
24	Функції активації нейронів	$f(x)$ (табл. 3.5)
25	Кількість шарів NN	N
26	Помилка (розбіжність між очікуваними і отриманими відповідями)	δ
27	Відстань між $(WS)_n$ і $(WS)_{n+1}$	d

Методика експериментальних досліджень.

Test 1. Згідно з виразом (2.28) $h(t) = \underbrace{\frac{1}{\det(pE - A)} S(p)}_{(C)_{i,j}} \cdot B + \underbrace{y_{01WS} + h_{10}}_{const} + \|(\delta y_{01WS})_{i,1}\|$

процес автоматизації WS зводиться до перевірки двох складових функції $f(t) = f_1(t) + f_2(t)$:

– матричної передавальної функції $y_k(t) = \frac{1}{\det(pE - A)} S(p) \cdot B$, $B = x$, $y_k(t)$ –

оригінал функції $f_1(t)$. Усі скалярні передавальні функції мають один і той же характеристичний поліном. Тому експериментальні дослідження потоку даних від WS зводяться до обробки коренів цього полінома;

– функції $f_2(t) = \underbrace{y_{01WS} + h_{10}}_{const} + \|(\delta y_{01WS})_{i,1}\|$, що містить постійні складові: нуль

глибин $h_{01WS} = h_{02WS}$, можливі зміни нуля глибин відносно абсолютної системи висот $h_{10} = h_{20}$ і матрицю-стовпець миттєвого рівня води відносно 1WS $\|(\delta y_{01WS})_{i,1}\|$.

Таким чином, задаючи різні матричні значення функцій $f_1(t)$ & $f_2(t)$ і постійних складових з урахуванням критеріїв обробки потоків навігаційних даних (табл. 4.1) отримуємо автоматизоване значення глибин.

Test 2. Захоплення в Inland ECDIS потоку даних від WS здійснюється за допомогою даних SENC. Сценарій захоплення і показу глибин в SENC детально викладений у підрозділі 2.5 дисертації. Експериментальні дослідження полягають в контролі поправок, що надійшли, у спеціальному вікні SeeMyENC і зображенню змінених глибин на SENC.

Test 3. Перевірка прийняття AP в умовах багатокритеріальності (multicriteria) проводиться на моделі, що відображена на рис. 3.2. Вибір альтернативи A_{CE} в умовах багатокритеріальності здійснюється за виразом (3.7), що заснований на критерії сумарної ефективності

$$A_{CE} = \arg \max_i K_i ,$$

$$K_i = \sum_a F_{ia} x V_a ,$$

Для вирішення вказаної проблеми застосовуються метод нормалізації (табл. 3.2); ваговий метод (табл. 3.3) і метод згортки (табл. 3.4).

Test 4. Перевірка спрацьовування сигналізації за умови $h(t) = НСР \Delta ВСР \& D(z_i) \rightarrow \max \vee \min$. Розраховуються області значень функцій $D(z_i)$ за виразом (3.9). Далі для функції $D(z_i)$ встановлюються наведені вище критерії інтелектуальної обробки потоків навігаційних даних від WS.

Test 5. Для перевірки застосованих функцій активації нейронів $f(s)$ вхідних сигналів при використанні NN будується графік отриманих залежностей Ω від S за

виразами таблиці 3.5. Вказуються назва функції, математичний вираз, область значень, графічні пояснення.

Test 6. Обчислення сигналу помилки. Враховується, що помилка формується кожену епоху і повинна йти на спад. Розрахунок помилки здійснюється за виразами (3.16, 3.17) згідно з методом MSE – Mean Squared Error.

$$\delta = \frac{[f_1(e) - \delta_1]^2 + [f_2(e) - \delta_2]^2 + \dots + [f_n(e) - \delta_n]^2}{n}.$$

$$\begin{aligned} \delta = z - y \rightarrow \delta_4 = w_{46}\delta \rightarrow \delta_5 = w_{56}\delta \rightarrow \delta_1 = w_{14}\delta_4 + w_{15}\delta_5 \rightarrow \\ \rightarrow \delta_2 = w_{24}\delta_4 + w_{25}\delta_5 \rightarrow \delta_3 = w_{34}\delta_4 + w_{35}\delta_5. \end{aligned}$$

У зв'язку з використанням методу градієнтного спуску в алгоритмі зворотного поширення помилки обчислюється похідна $df(e)/de$ через активаційну функцію (табл. 3.5).

Test 7. Перевірка класифікації вхідних сигналів від WS (*NNClass*) зводиться до вибору координат прототипів шляхом розрахунку евклідової відстані – міри близькості за виразом (3.18) і рис. 3.4, 3.6

$$d_E(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_i - y_i)^2} = \|x - y\|.$$

Test 8. Для розрахунку СКП виходу нечіткої NN здійснюємо кодування параметрів від WS під час навчання нечіткої NN. Задаємо параметричну функцію трикутної форми (рис. 3.9). Налаштування складових p_{ik} вектора $\bar{p}_k = (p_{1k}, p_{2k}, p_{3k})$ здійснюємо в інтервалі $\Delta = [p_{ikmin}, p_{ikmax}]$: p_{ikmin} *id* НСР, p_{ikmax} *id* ВСР. Далі Δ розбиваємо на N підінтервалів за виразом (3.22)

$$N = \frac{2 \cdot (h_2 - h_1)}{m_{z0}} \Rightarrow p_{ikmin} \text{ id cod } 0, p_{ikmax} \text{ id cod } 1,$$

СКП виходу нечіткої NN отримуємо за виразом (3.22)

$$M = \frac{1}{2}(\Delta y)^2,$$

Test 9. Для розв'язування задачі розміщення WS для отримання оптимального потоку навігаційних даних визначаємо межу дії WS, яка характеризується відстанню за виразами (3.31, 3.32)

$$d = [(WS)_n, (WS)_{n+1}] : \Delta h_n = h_n - h_{n+1} \leq \delta_z,$$

$$d = \frac{\delta_z}{\Delta h_m} S_{AB} = \frac{\delta_z}{h_B - h_A} S_{AB},$$

Алгоритм визначення d_i і нанесення місць розміщення WS на SENC:

- a. Судновий хід на ВВШ розділяється на ділянки між судноплавними шлюзами. WS встановлюються на верхніх і нижніх б'єфах шлюзів (WS_i^{BB} & WS_i^{HB}).
- b. За виразом (3.32) визначається d_i відносно WS_i^{BB} & WS_i^{HB} .
- c. За розрахунками d_i визначаються місця розміщення WS.
- d. $S_{AB} \leq d_{AB}$.
- e. При розміщенні WS враховується розчленованість берега, рельєф дна, згінно-нагінні явища, доступність обслуговування.

Так, при використанні математичного апарату для оцінки рельєфу, при застосуванні якого ряд характеристик виражатися числами, робить його об'єктивним і порівняним. Цифрове відображення інформації про об'єкти міститься в цифрових картах. Це дозволяє виявити будь-які форми рельєфу в межах роздільної здатності і точності. Очевидно, відстань між водомірними постами має враховувати не тільки загальну картину рельєфу, а й окремі характерні його форми.

4.2. Результати і порівняльний аналіз експериментальних досліджень згідно з існуючою та запропованою технологією

Результати експериментальних досліджень та їх математична обробка згідно із запропованою технологією наведені у таблицях 4.2 – 4.8 і рис. 4.2, 4.3. Спрощені моделі, які застосовувалися протягом останнього десятиліття при використанні традиційних паперових річкових навігаційних карт, досить частково охоплюють аспекти загальної проблематики.

Порівняльний аналіз експериментальних досліджень згідно з існуючою та запропованою технологією виконаний у таблиці 4.9.

Тест 1.

Таблиця 4.2 – Перевірка двох складових функції $f(t)$ для отримання поправок до глибин $h(t)$

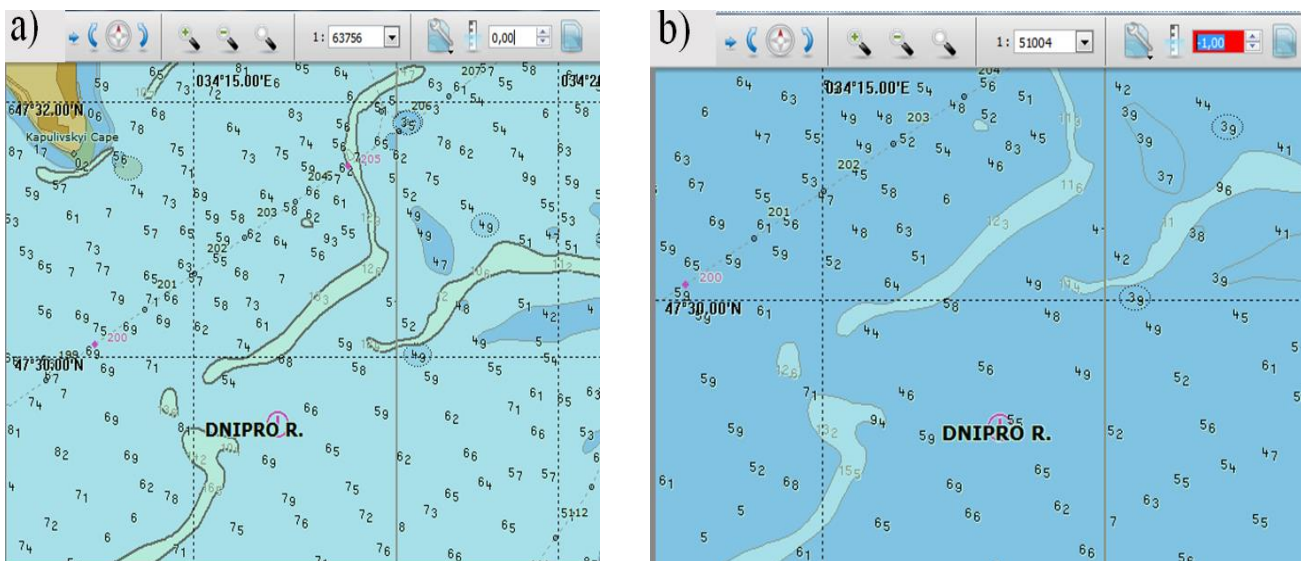
№ з/п	$y_1(t), м$			$f_2(t), м$				$h(t) = y_1(t) + f_2(t) (м)$	t
	$A_{1n} * A_{2n}$	A_{3n}	$\prod_{i=1}^{n=3} A_{in}$	B_{1m}	B_{2m}	B_{3m}	$\sum_{j=1}^{m=3} B_{jm}$		
SENC UA8N0082.000, UA8N0023.000 (3528), WS: Каховська ГЕС (н/б) – Херсон									
1	+ 0,20	- 0,515	- 0,10	0.00	0.00	+ 0,50	+ 0,50	+ 0,40	10.04.18 10 ⁰⁰
2	+ 0,65	0.00	0,00	0.00	0.00	+ 0,65	+ 0,65	+ 0,65	12.04.18 12 ⁰⁰
SENC UA8N0093.000, UA8N0212.000 (3529), WS: Каховська ГЕС (в/б) – Нікополь									
3	+ 0,40	- 0,630	- 0,25	0.00	0.00	+ 0,70	0,70	+ 0,45	16.04.18 12 ⁰⁰
4	+ 0,60	+ 0,255	+ 0,15	0.00	0.00	+ 0,40	+ 0,40	+ 0,55	19.04.18 16 ⁰⁰
SENC UA8N0212.000, UA8N0295.000 (3529), WS: Нікополь – Дніпровська ГЕС (н/б)									
5	- 0,40	- 0,445	+ 0,178	0.00	0.00	- 0,70	- 0,70	- 0,52	24.04.18 10 ⁰⁰
6	0,00	0,00	0,00	0.00	0.00	0.00	0,00	0,00	27.04.18 12 ⁰⁰
SENC UA8N0305.000, UA8N0393.000 (3530), WS: Дніпровська ГЕС (в/б) – Дніпро									
7	- 0,50	+ 0,725	- 0,36	0.00	0.00	+ 0,30	+ 0,30	- 0,06	05.06.18 12 ⁰⁰
8	+ 0,10	- 0,625	- 0,06	0.00	0.00	+ 0,35	+ 0,35	+ 0,29	08.06.18 16 ⁰⁰
SENC UA8N0393.000, UA8N0434.000 (3530), WS: Дніпро – Среднеднепровская ГЭС (н/б.)									
9	- 0,20	+ 1,000	- 0,20	0.00	0.00	+ 0,20	+ 0,20	0,00	18.06.18 10 ⁰⁰
10	+ 0,20	- 0,415	- 0,08	0.00	0.00	+ 0,50	+ 0,50	+ 0,42	20.06.18 12 ⁰⁰

У таблиці використані наступні позначення для перевірки двох складових функції $f(t) = f_1(t) + f_2(t)$ та отримання поправок до глибин: $y_k(t)$ – матрична передавальна функція являє собою прямокутну матрицю розмірності $n \times m$ ($y_k(t)$ – оригінал функції $f_1(t)$). Кожен елемент цієї матриці є скалярна передавальна функція від входу до виходу; $A_{1n} = [\det(pE - A)]^{-1}$ – визначник у ступені (-1) характеристичної матриці $(pE - A)$ – визначає степеневий поліном змінної Лапласа p порядку n ; $A_{2n} = S(p) - adj$ для матриці $(pE - A)$ з урахуванням заданого вектора за виразом (2.26); $A_{3n} = B$ – матриця $n \times m$ коефіцієнтів місця знаходження судна; $\prod_{i=1}^{n=3} A_{in}$ – добуток складових $y_k(t)$; $B_{1m} = h_{01WS} = h_{02WS}$ – постійна складова, що дорівнює нулю глибин; $B_{2m} = h_{10}$ – можливі зміни y_{01WS} відносно абсолютної системи висот. Для тестування прийнята умова $h_{10} = h_{20} = \text{const}$; $B_{3m} = \|(\delta y_{01WS})_{i,1}\|$ – матриця-стовпець змін миттєвого рівня води відносно нуля глибин 1WS (y_{01WS}).

Для тестування прийнята умова $y_{01WS} = y_{02WS}$; $\sum_{j=1}^{m=3} B_{jm}$ – сума складових функції $f_2(t)$.

Вибірка даних проводилася на визначений час і дату (t). Обрані акваторії (рис. 4.1) прив'язувалися до визначеної Inland ENC.

Test 2. Захоплення в SENC потоку даних від WS зображено на рис. 4.2 у вигляді поправок у спеціальному вікні SeeMyENC і змінених глибин на SENC.



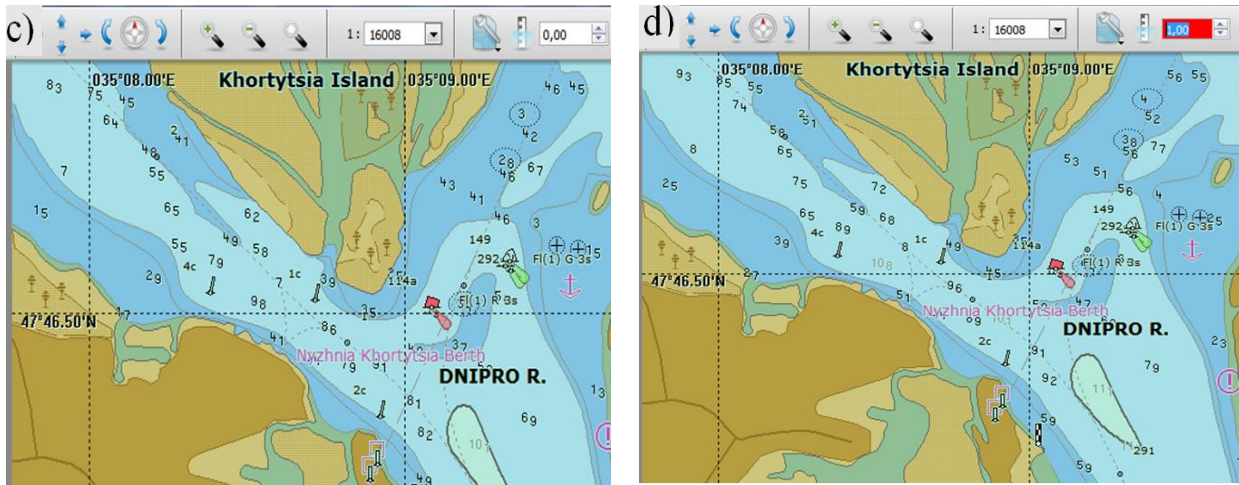


Рисунок 4.2 – Зображення поправок і змінених глибин на SENC

- a) SENC UA8N0228.000, $h(t) = 0.00$ м;
- b) SENC UA8N0228.000, $h(t) = -1.00$ м;
- c) SENC UA8N0285.000, $h(t) = 0.00$ м;
- d) SENC UA8N0285.000, $h(t) = 1.00$ м

Test 3. Результати перевірки прийняття АР в умовах багатокритеріальності (multicriteria – M_c) (рис. 3.2) показані у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Прийняття АР в умовах багатокритеріальності

№ з/п	$N^{M_c} = \{N^{M_c}_a\}$							
	$N^{M_c}_1$	V_{a1}	F_{i1}	$A^{M_c}_{1, м}$	$N^{M_c}_2$	V_{a2}	F_{i2}	$A^{M_c}_{2, м}$
SENC UA8N0082.000, (3528), WS Каховська ГЕС (н/б)								
1	КБ	0,25	0,35	0,30	КБ	0,27	0,30	0,35
2	КБ	0,23	0,40	0,25	КБ	0,25	0,40	0,30
3	КБ	0,20	0,45	0,20	КБ	0,23	0,50	0,25
$A_{CE} = \arg \max K = 0,20$ м								

У таблиці використані такі позначення: $N^{M_c} = \{N^{M_c}_a\}$ – множина критеріїв оцінки альтернатив; K_i – підсумкова оцінка A_i ; V_a – оцінка важливості a -го критерію ($\sum_a V_a = 1$); $F_{i a}$ – оцінка переваги A_i за a -м критерієм ($\sum_a F_{i a} = 1$); КБ – критерії Байеса (характеризуються *max* значенням математичного очікування).

Test 4. Результати перевірки спрацьовування сигналізації за умови $h(t) = \text{НСР } \Delta \text{ ВСР} \ \& \ D(z_i) \rightarrow \max \vee \min$ показані у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Спрацьовування ALARM при $h(t) = \text{HCP} \Delta \text{BCP} \& D(z_i) \rightarrow$ $\rightarrow \max \vee \min$

№ з/п	$D(z_i)$									
	$D(z_1), м$		$D(z_2), м$		$D(z_3), м$		$D(z_4), м$		$D(z_5), м$	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
SENC UA8N0212.000, WS Нікополь										
1	-1,50	+3,00	-1,00	+1,00	-0,50	+0,50	-0,50	+0,50	-1,50	+3,00
2	-1,60	+3,10	-1,00	+1,00	-0,50	+0,50	-0,50	+0,50	-1,55	+3,05
3	-1,70	+3,20	-1,00	+1,00	-0,50	+0,50	-0,50	+0,50	-1,60	+3,10

У таблиці використані такі позначення: $D(z_i)$ – області значень функцій z_i ;

$$z_1 = \frac{1}{\det(pE - A)} S(p) \cdot \underbrace{C_{ij}}_{(C)_{i,j}} - \text{матриця } C_{ij} \text{ зі значенням змін миттєвого рівня води відносно}$$

2WS. C_{ij} обчислюється в SENC; $z_2 = B$ – матриця $n \times m$ місця знаходження судна B за даними SENC; $z_3 = h_{10}$ – постійна складова, що дорівнює можливим змінам нуля глибин відносно абсолютної системи висот $h_{10} = h_{20}$; $z_4 = y_{01WS}$ – нуль глибин 1WS, $y_{01WS} = y_{02WS}$; $z_5 = \|(\delta y_{01WS})_{i,1}\|$ – матриця-стовпець змін δy_{01WS} ; HCP, BCP – нижній і верхній судноплавний рівень; БОН – безпечна область навігації; $h_2 - h_1$ – різниця показів WS.

Області значень функцій $D(z_i)$:

$$D(z_1) = \left[\min_{Z1 > HCP} f(z_1); \max_{Z1 < BCP} f(z_1) \right], \quad h_2 - h_1 \leq \frac{k_3 \cdot m_{z0}}{2};$$

$$D(z_2) = \left[\min_{Z_2 \in \Omega(\text{БОН})} f(z_2); \max_{Z_2 \in \Omega(\text{БОН})} f(z_2) \right], \quad 0 < M \leq 5 \text{ м}, \quad 1.5 < \sec h_{cp} \cdot \sqrt{\frac{3}{\sum \sin^2 \Delta A}} < 5;$$

$$D(z_3) = \left[\min_{Z3 \rightarrow 0} f(z_3); \max_{Z3 \rightarrow 0} f(z_3) \right]; \quad D(z_4) = \left[\min_{HCP < Z4 < BCP} f(z_4); \max_{HCP < Z4 < BCP} f(z_4) \right];$$

$$D(z_5) = \left[\min_{HCP < Z5 < BCP} f(z_5); \max_{HCP < Z5 < BCP} f(z_5) \right],$$

Test 5. Результати перевірки застосованих функцій активації нейронів $f(s)$ вхідних сигналів при використанні NN показані на графіку отриманих залежностей Ω від S (рис. 4.3) за виразами таблиці 3.5. WS – Нікополь.

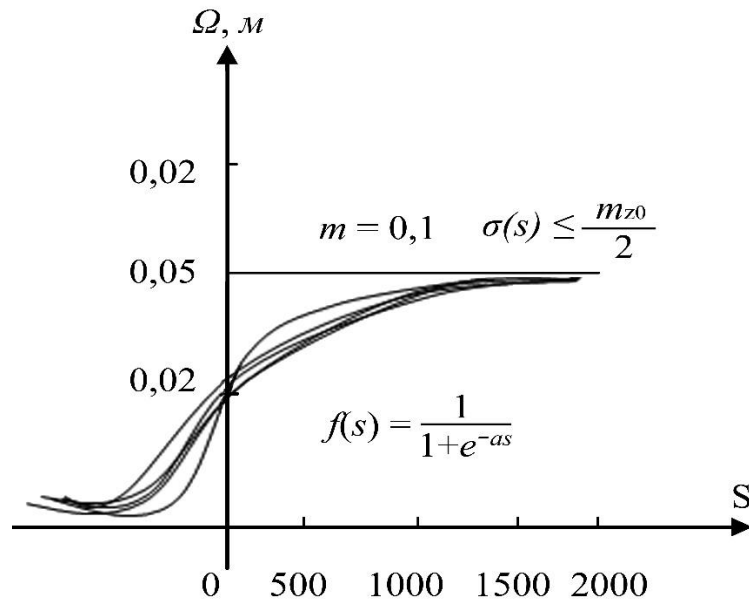


Рисунок 4.3 – Графік залежностей Ω від S при вхідних сигналах WS

Пояснення позначень Ω і S зображено на рис. 4.4.

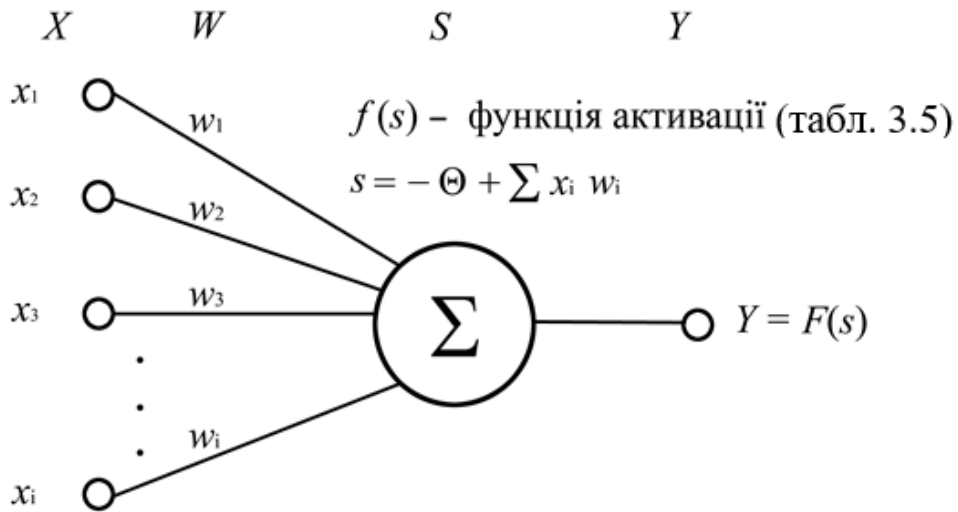


Рисунок 4.4 – Застосована модель штучного нейрона

Підсумок взаємодії WS з п'ятьма підсистемами ІМН – це виконання поставлених завдань з ймовірністю безпечного плавання $P_{\text{он}} \geq 95\%$ для конкретних умов руху водного транспорту за виразом

$$P_{\text{он}} = 1 - \exp(-D_{\text{min}}/M)^2,$$

де D_{min} – найкоротша відстань до найближчої небезпеки; M – СКП зчислюваного місця судна у точці найкоротшої відстані до найближчої небезпеки.

При моделюванні ситуації можлива параметрична варіація контролювалася у заданих межах критеріїв оптимальності. Область стійкості у векторному просторі обчислювалася за інформацією з ENC.

Test 6. Обчислення сигналу помилки δ показано у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Обчислення сигналу помилки δ

№ з/п	$y = f(e), м$	μ	$z, м$	$\delta = z - y, м$	WS
SENC UA8N0023,000 (3528)					
1	+ 0,45	0,5	+ 0,40	- 0,05	Херсон
2	+ 0,43	0,5	+ 0,40	- 0,03	
3	+ 0,42	0,5	+ 0,40	- 0,02	
4	+ 0,41	0,5	+ 0,40	- 0,01	

У таблиці використані такі позначення: e – зважена сума вхідних сигналів. $e = x_1w_1 + x_2w_2 + \dots + x_n w_n$ (рис. 3.5); z – визначена величина; μ – коефіцієнт швидкості навчання NN. Швидкість навчання μ беремо у межах 0.3 – 0.7.

Test 7. Для даної задачі кількість мережевих входів визначалася кількістю функцій ($n=2$). Число нейронів першого прихованого шару дорівнює 3, другого прихованого шару дорівнює 2. Всі нейрони мережі використовували зважену суму в якості вагової функції і логістичного сигмоїду як передавальної функції. Параметри методу навчання були встановлені таким чином: швидкість навчання беремо у межах 0,3 – 0,7, допустима кількість ітерацій (epoch) методу – 200, цільове значення функції помилки – 5. Після завершення процесу навчання нейронної моделі була зафіксована її кінцева характеристика $h(t)$ і визначена помилка δ . Результати проведених експериментів представлені у таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Перевірка класифікації вхідних сигналів від WS ($NNClass$)

SENC	Code	N_{PP}	Cluster	$X_{WS, M}$			$\overline{N_{PP} + 1}$	$h(t),$ M	$\delta,$ %	Date/ time
				max	min	average				
UA8N0023.000 WS – Херсон	M	N_{PP1}	h_{10}	0	0	0	0	0.33 4	5	27.07.2018 13-00
		N_{PP1}	h_{20}	0	0	0	0			
		N_{PP1}	h_{01WS}	0.421	0.415	0.418	0			
		N_{PP1}	h_{02WS}	0.288	0.280	0.284	0			
	$d_E = 0,02 M$									
	L	N_{PP2}	$[det(pE-A)]^{-1}S(p)$	0.310	0.295	0.303	0			
		N_{PP2}	B	–	–	–	0			
		N_{PP2}	$\ (\delta y_{01WS})_{i,1}\ $	0.229	0.233	0.231	0			
	$d_E = 0,02 M$									
	UA8N0082.000 WS – Каховська ГЕС (н/б)	M	N_{PP1}	h_{10}	0	0	0	0	0.20 5	5
N_{PP1}			h_{20}	0	0	0	0			
N_{PP1}			h_{01WS}	0.321	0.313	0.317	0			
N_{PP1}			h_{02WS}	0.184	0.180	0.182	0			
$d_E = 0,02 M$										
L		N_{PP2}	$[det(pE-A)]^{-1}S(p)$	0.188	0.182	0.185	0			
		N_{PP2}	B	–	–	–	0			
		N_{PP2}	$\ (\delta y_{01WS})_{i,1}\ $	0.549	0.555	0.552	0			
$d_E = 0,02 M$										

У таблиці використані наступні позначення: M – кластери, що містять дуже малу кількість прикладів, L – кластери, що містять дуже багато прикладів, N_{PP} – граничні числа прикладів для регулювання розміру кластерів і вирішення проблеми їх переповненості, X_{WS} – вхідні дані, $\overline{N_{PP} + 1}$ – створення іншого кластера, при \max розміру нового прикладу, $h(t)$ – поправка до глибин, розраховується за виразом (2.28), δ – помилка, процентна величина, що відображає розбіжність між очікуваними і отриманими відповідями, розраховується за виразами (3.16, 3.17). Маркери «min», «max» і «average» позначаються відповідно мінімальними, максимальними і середніми значеннями.

При проведенні експерименту враховані екстремальні (контрольні) значення кластера B – матриці $n \times m$ місця знаходження судна між двома WS за даними, що зняті з SENC. Кластер B входить до складової $[det(pE-A)]^{-1}S(p)$ у виразі (2.28). Так, для SENC № UA8N0017.000 & SENC № UA8N0082.000.

$$\begin{aligned}
 -0.333 \leq B \leq 0 & \left\{ \begin{array}{l} B = 0 \Rightarrow h(t) = 0.404, \\ B = -0.333 \Rightarrow h(t) = 0.303. \end{array} \right. \\
 -0.659 \leq B \leq 0 & \left\{ \begin{array}{l} B = 0 \Rightarrow h(t) = 0.307, \\ B = -0.659 \Rightarrow h(t) = 0.185. \end{array} \right.
 \end{aligned}$$

Значення даних виразів ототожнюються з отриманням поправок $h(t)$ суднами, що знаходяться в безпосередній близькості від 1WS \vee 2WS для визначеного району плавання. У графі $\overline{N_{PP} + 1}$ проставлені нулі у зв'язку з тим, що тах розмір нового прикладу не встановлений і створення іншого кластера не проводилося. У рядках h_{10} , h_{20} (max, min, average) також проставлені нулі через відсутність змін нуля глибин 1WS \vee 2 WS відносно абсолютної системи висот.

Test 8. Розрахунок СКП виходу нечіткої NN показані у таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Розрахунок СКП виходу нечіткої NN

№ з/п	Δ_1		\bar{p}_{1k} , <i>m</i>	Co d	Δ_2		\bar{p}_{2k} , <i>m</i>	Cod	N	$M = \frac{1}{2}(\Delta y)$ <i>m</i>	WS
	min/co d, <i>m</i>	max/cod , <i>m</i>			min/co d, <i>m</i>	max/cod , <i>m</i>					
SENC UA8N0023.000 UA8N0093.000 (3528)											
1	- 1,50/0	+ 3,00/1	+ 0,50	0.44	- 1,50/0	+ 3,00/1	+0,70	0.49	4	0.02	Херсон – Каховськ а ГЕС (в/б)
2	- 1,60/0	+ 3,10/1	+ 0,60	0.47	- 1,60/0	+ 3,10/1	+ 0,75	0.50	3	0.02	
3	- 1,70/0	+ 3,20/1	+ 0,70	0.49	- 1,70/0	+ 3,20/1	+ 0,80	0.51	2	0.01	

У таблиці використані наступні позначення:

$\Delta = [p_{ikmin}, p_{ikmax}]$: p_{ikmin} id НСР, p_{ikmax} id ВСР – інтервал налаштування складових

p_{ik} вектора $\bar{p}_k = (p_{1k}, p_{2k}, p_{3k})$; N – підінтервали поділу Δ ,

$N = \frac{2 \cdot (h_2 - h_1)}{m_{z0}} \Rightarrow p_{ikmin}$ id cod 0, p_{ikmax} id cod 1 ; $h_2 - h_1$ – різниця перевищень

миттєвого рівня між WS; m_{z0} – загальна погрішність глибини, показаної на карті;

$M = \frac{1}{2}(\Delta y)^2$ – СКП виходу нечіткої NN ; $\Delta y = y - y_0$ – абсолютна помилка вихідного нейрона; y_0 – потрібне значення виходу.

Операція декодування є інверсною по відношенню до операції кодування.

Test 9. Розв'язування задачі розміщення WS для отримання оптимального потоку навігаційних даних показано у таблиці 4.8.

Табл. 4.8

Оптимізація відстані між WS

$(WS)_n - (WS)_{n+1}$	$d_{WS},$ км	$\frac{d_{WS}}{d} = k$	$d_i (WS_i^{BB} \& WS_i^{HB}),$ км
Херсон – Каховська ГЕС (н/б)	62	2	91 км (від 0 км р. Рвач)
Каховська ГЕС (в/б) - Нікополь	119	3	209 км
Нікополь – Дніпровська ГЕС (н.б.)	89	2	209 км

У таблиці використані наступні позначення:

d_{WS} – відстань між WS, знята з карти; $d_i (WS_i^{BB} \& WS_i^{HB})$ – відстань між WS, встановлених на верхніх і нижніх б'єфах шлюзів ($WS_i^{BB} \& WS_i^{HB}$) за даними PIC; d – розрахункове значення відстані між WS.

$$d = [(WS)_n, (WS)_{n+1}] : \Delta h_n = h_n - h_{n+1} \leq \delta_z,$$

$$d = \frac{\delta_z}{\Delta h_m} S_{AB} = \frac{\delta_z}{h_B - h_A} S_{AB},$$

Нижче у таблиці 4.9 викладений порівняльний аналіз експериментальних досліджень згідно з існуючою та пропонованою технологією.

Таблиця 4.9 – Порівняльний аналіз експериментальних досліджень згідно з існуючою та пропонованою технологією

Test	Пропонована технологія	Існуюча технологія
1	2	3
1	а) Підвищення ефективності несення навігаційної вахти (розрахунки у підрозділі 4.3). Дозволить виключити помилки в системі підтримки прийняття рішень для вахтових помічників капітанів.	а) Ефективність несення навігаційної вахти залежить тільки від людського фактору. Не виключені помилки в системі підтримки прийняття рішень для вахтових помічників капітанів.

1	2	3
	<p>Дозволить зменшити час на прийняття рішення при змінах умов функціонування до 30%, або, при незмінному часі, підвищити ймовірність прийняття правильних рішень на 10–15 %.</p> <p>Автоматизація взаємодії засобів електронно-картографічної інтелектуалізації з внутрішніми і зовнішніми датчиками при змінах умов експлуатації;</p> <p>b) забезпечення безаварійного руху ВТЗ (розрахунки у підрозділі 4.3).</p> <p>Підвищення ймовірності безпечного плавання до 97%.</p> <p>Відмова від лоцманського принципу судноводіння.</p> <p>Відмова від установки берегових і плавучих ЗНО.</p> <p>Адаптивний режим попереджувального відображення безпечної області руху суден до позицій з лімітуючими обмеженнями експлуатації ВТЗ.</p> <p>Автоматизація інтегрованих інформаційних технологій;</p> <p>c) використання інформаційних методів для оцінки вхідної і вихідної інформації Inland ECDIS (розрахунки у підрозділі 4.3).</p> <p>Підвищення точності навігаційних параметрів, що визначають обмеження для судноплавства на 10 % по відношенню до звичайного режиму;</p> <p>d) врахування якісних характеристик навігаційної інформації, що сприймається й переробляється (розрахунки у підрозділі 4.3).</p> <p>Врахування часової невизначеності реальних потоків інформації (безперервність потоку даних).</p> <p>Можливість показу ізобат для дійсного рівня води на судновому ході в залежності від обраної осадки судна;</p> <p>e) досягнення значної економії палива (розрахунки у підрозділі 4.3).</p> <p>Можливість передачі даних за запитом. (економія ресурсу);</p>	<p>У зв'язку з дотриманням обов'язкового алгоритму роботи з паперовими навігаційними картами і РІС зменшити час на прийняття рішення при змінах умов функціонування або підвищити ймовірність прийняття правильних рішень не є можливим.</p> <p>Автоматизація взаємодії Inland ECDIS із зовнішніми датчиками (WS) відсутня;</p> <p>b) не забезпечує безаварійний рух ВТЗ.</p> <p>Не забезпечує підвищення ймовірності безпечного плавання.</p> <p>Відмова від лоцманського принципу судноводіння не можлива.</p> <p>Відмова від установки берегових і плавучих ЗНО не можлива.</p> <p>Режим попереджувального відображення безпечної області руху суден до позицій з лімітуючими обмеженнями експлуатації ВТЗ відсутній.</p> <p>Автоматизація інтегрованих інформаційних технологій не існує;</p> <p>c) інформаційні методи для оцінки вхідної і вихідної інформації в Inland ECDIS відсутні.</p> <p>Підвищення точності критичних факторів, що визначають обмеження для судноплавства, неможливо в зв'язку з їх відсутністю;</p> <p>d) безперервність реального потоку даних не забезпечується.</p> <p>Показ ізобат для дійсного рівня води на судновому ході в залежності від обраної осадки судна відсутній;</p> <p>e) існуюча технологія не забезпечує значну економію палива і економію ресурсу об'єктів зовнішнього середовища;</p>

1	2	3
	f) не потрібна додаткова підготовка судноводіїв	f) потрібна додаткова підготовка судноводіїв
2	$\overline{Aut\ depth\ SENC}$. Візуальне спостереження захоплення на SENC Inland ECDIS потоку даних від WS. Візуальне спостереження автоматизованого введення поправок і змін глибин на SENC	Автоматизоване введення поправок і змін глибин на SENC відсутнє
3	Цілеспрямована автоматизація процесів підтримки прийняття рішень при змінах умов експлуатації ВТЗ, своєчасного передбачення розвитку подій з впливом на стаціонарні фактори навколишнього середовища	Автоматизація процесів підтримки прийняття рішень при змінах умов експлуатації ВТЗ у частині використання деталізованого банку глибин відсутня
4	Спрацьовування сигналізації за умови $h(t) = НСР \Delta ВСР \& D(z_i) \rightarrow \max \vee \min$ показані у таблиці	Сигналізація за умови $h(t) = НСР \Delta ВСР$ та виході з БОН відсутня
5,7	Автоматизація інтегрованих інформаційних технологій у частині застосування NN. Розширення функціональних можливостей Inland ECDIS за рахунок взаємного функціонування в режимах контролю і діагностування	Автоматизація інтегрованих інформаційних технологій у частині застосування NN відсутня. Функціональні можливості Inland radar не розширені
6,8	Висока точність $\overline{WS}_m^{(nav)}$. Зменшення помилки δ при реалізації функції навчання NN. Автоматизований розрахунок СКП виходу нечіткої NN	Невисока точність $\overline{WS}_m^{(nav)}$. Зменшення помилки δ не передбачено. Автоматизований розрахунок СКП вихідних даних від WS відсутній
9	Розв'язана задача розміщення WS для отримання оптимального потоку навігаційних даних	WS розміщені без урахування критеріїв точності судноплавства

4.3. Розрахунок показників та оцінка ефективності пропонованої технології

Ефективність пропонованої технології – це здатність створюваної мережі автоматизованої передачі поправок до глибин, позначених на SENC Inland ECDIS, досягати поставленої мети в заданих умовах застосування ІМН з визначеною якістю.

Тобто, у даному випадку – це характеристика, що відображає ступінь відповідності створюваної мережі своєму призначенню, її технічну досконалість і економічну доцільність. Корисним результатом є ефект від її використання, який досягається за допомогою певних витратних ресурсів. Ефективність розглянемо у вигляді співвідношення між ефектом і витратами.

Ефективність мережі автоматизованої передачі поправок до глибин, позначених на SENC, оцінимо шляхом виконання апіорної оцінки з метою визначення очікуваної ефективності та доцільності реалізації пропонованої технології до етапу експлуатації. Для здійснення апіорної оцінки застосуємо методи математичного моделювання. Обрана аналітична математична модель характеризується:

- роботою системи в діалоговому режимі і враховує характеристики людини (користувача, оператора Inland ECDIS), відображає її роль і місце в пропонованій системі;
- охопленням основного і допоміжного процесу функціонування автоматизованої системи;
- відображенням процесів, що паралельно відбуваються;
- поєднанням властивостей опису і оцінки процесів функціонування;
- доступністю мови програм.

У досліджуваній аналітичній математичній моделі весь процес функціонування системи і окремих її частин представлялися аналітично у вигляді функціональних залежностей (алгебраїчних і логічних співвідношень, інтегрально-диференціальних рівнянь). Причому, при дослідженні ефективності системи комплексно використані і імітаційні моделі в раціональному поєднанні.

Слід зазначити, що за темою «Структурне моделювання та диференціальні символічні перетворення системи відображення фактичних глибин на електронній карті», затвердженою вченою радою ДУІТ (протокол від 08.12.17 № 1), проводяться дисертаційні дослідження. В якості основної математичної моделі при дослідженні ефективності системи прийнята імітаційна модель, що відрізняється від аналітичної моделі за принципами побудови і методами

дослідження. У такій імітаційній моделі процес функціонування відображається алгоритмічно. Імітаційне моделювання дозволяє провести дослідження системи більш повно і глибоко, хоча його використання пов'язане з більшою трудомісткістю і значними витратами.

Враховуючи вищевикладене, за окремими показниками ефективності (наприклад, показники надійності, затримки в мережі передачі даних, інтегральної і динамічної пропускної здатності, технічних і програмних засобів мережі та інше) розрахунки проводилися з огляду на спрямованість даної дисертації.

Таблиця 4.10 – Показники та формули ефективності запропонованих методів

Method test	Формули ефективності автоматизованої мережі	Позначення показників ефективності
A	Показник ефективності мережі $W = \{W_{\Pi}, W_T, W_E\}$	W
B	Показники цільової ефективності мережі $W_{\Pi} = \{W_{TH}, W_{Tч}, W_H\}$	$W_{TH}, W_{Tч}, W_H$
C	Показники технічної ефективності мережі $W_T = \{W_{ПЗ}, T_{ЗС}, \delta_{WS}, \delta_{WS}(\Delta t, t), \mu\}$	$W_{ПЗ}, T_{ЗС}, \delta_{WS}, \delta_{WS}(\Delta t, t), \mu$
D	Показники економічної ефективності мережі $W_E = \{W_{EI}, W_{EO}\} = \{E_P, T_{OK}, W_{EP}, W_{ET}\}$	$E_P, T_{OK}, W_{EP}, W_{ET}$

Показники та формули ефективності, що характеризують впровадження запропонованих методів, зведені у таблиці 4.10.

Нижче наведені методи і розрахунки оцінки ефективності функціонування мережі за пропонованою технологією.

Test A. Показник ефективності W мережі визначається процесом її функціонування. W є функціоналом від цього процесу.

$$W = W \{t, W_{WS}, W_{ТП}, W_A, W_D, W_Y\},$$

де W – множина показників ефективності мережі; t – час; $\{W_{WS}, W_{ТП}, W_A, W_D, W_Y\}$ – множина параметрів мережі (W_{WS} – потік навігаційної інформації від WS, $W_{ТП}$ – обслуговування користувачів технічними і програмними засобами мережі,

W_A – алгоритми обробки і передачі інформації у мережі, W_D – діяльність користувачів, W_Y – умови функціонування мережі).

$$W_D = \{W_{TH}, W_{TЧ}, W_H\},$$

де $\{W_{TH}, W_{TЧ}, W_H\}$ – множина показників ефективності функціонування автоматизованої мережі: точнісні (W_{TH}), тимчасові ($W_{TЧ}$), надійнісні (W_H).

Значення компонентів множини $\{W_{TH}, W_{TЧ}, W_H\}$ визначаються в процесі діяльності операторів Inland ECDIS в автоматизованій мережі при несенні навігаційної вахти.

Для конкретизації поняття ефективності автоматизованої мережі передачі поправок до глибин, позначених на SENC Inland ECDIS, показники множини W представимо у вигляді трьох груп:

$$W = \{W_{Ц}, W_T, W_E\},$$

де $W_{Ц}$ – показники цільової ефективності мережі. Це кількісна міра відповідності мережі своєму призначенню;

W_T – показники технічної ефективності мережі. Це кількісна міра, яка відображає технічну досконалість мережі;

W_E – показники економічної ефективності мережі. Це кількісна міра економічної доцільності мережі.

Test B. Показники цільової ефективності мережі $W_{Ц}$. Нижче наведені показники групи $W_{Ц}$. За допомогою цих показників оцінюється ефект, одержуваний за рахунок вирішення прикладних завдань, а не вручну традиційними способами. Для кількісної оцінки застосовуються різні одиниці виміру.

$$W_{Ц} = \{W_{TH}, W_{TЧ}, W_H\}.$$

1. Точнісні показники (W_{TH}):

а) підвищення точності навігаційних параметрів (поправок до глибин) шляхом зменшення помилки δ_y при реалізації функції навчання NN

$$\text{Табл. 4.5} \rightarrow \delta_y = \frac{\frac{\sum_{i=1}^{n=4} \delta_{ni}^{(3B)}}{n} - \frac{\sum_{j=1}^{m=200} \delta_{mj}^{(ABT)}}{m}}{y} \cdot 100\%,$$

де $\delta^{(3B)}$, $\delta^{(ABT)}$ – помилки, отримані при звичайному і автоматичному способі передачі поправок від WS.

Розрахунок:

підвищення точності δ_y відбудеться на $\frac{0,05 - 0,01}{0,45} \cdot 100\% \approx 10\%$ по відношенню

до звичайного режиму;

б) скорочення часу для прийняття рішення з безпеки судноплавства вахтовим помічником капітана при спрацьовуванні сигналізації за умови $h(t) = \text{НСР} \Delta \text{ВСР} \& D(z_i) \rightarrow \max \vee \min$.

Розрахунок:

скорочення часу $\delta t_y = \frac{t^{(3B)}}{t^{(ABT)}}$ відбудеться в $\frac{3 \text{ хв}}{0,3 \text{ хв}} = 10$ разів,

де $t^{(3B)}$, $t^{(ABT)}$ – час для прийняття рішення при спрацьовуванні сигналізації при звичайному і автоматичному способі отримання поправок до глибин;

с) підвищення точності розрахунку СКП вихідного сигналу від WS

$$\text{Табл. 4.7} \rightarrow \delta M_y = \frac{M^{(3B)}}{M^{(ABT)}} = \frac{0,5(\Delta y^{(3B)})^2}{0,5(\Delta y^{(ABT)})^2} = \left(\frac{\Delta y^{(3B)}}{\Delta y^{(ABT)}} \right)^2,$$

де $M^{(3B)}$, $M^{(ABT)}$ – СКП вихідного сигналу від WS при звичайному і автоматичному способі отримання поправок до глибин; $\Delta y^{(3B)}$ – абсолютна помилка вихідного сигналу при звичайному способі отримання поправок; $\Delta y^{(ABT)}$ – абсолютна помилка вихідного сигналу при автоматичному способі отримання поправок.

Розрахунок:

підвищення точності розрахунку СКП δM_y відбудеться в $\left(\frac{0,02}{0,01}\right)^2 = 4$ рази по

відношенню до звичайного режиму;

d) підвищення ефективності несення навігаційної вахти (navigation watch – nw) в частині скорочення часу на виконання завдання з визначення безпечних глибин на фарватері.

$$\delta T_{nw} = \frac{\left| \sum_{i=1}^{n=20} T_{ni}^{(3B)} \right| - \left| \sum_{j=1}^{m=20} T_{mj}^{(ABT)} \right|}{T_{nw}} \cdot 100\%.$$

де $T_{ni}^{(3B)}$, $T_{ji}^{(ABT)}$ – час для визначення глибин при звичайному і автоматичному способі отримання поправок при несенні навігаційної вахти.

Розрахунок:

скорочення часу δT_{nw} відбудеться на $\frac{1,5 \text{ год} - 0,3 \text{ год}}{4,0 \text{ год}} \cdot 100\% = 30\%$.

e) підвищення ймовірності безпечного плавання за рахунок своєчасного виявлення небезпек з лімітованими значеннями глибин.

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{он}} &= P_{\text{он}}^{(3B)} - P_{\text{он}}^{(ABT)} = \left[1 - \exp\left(\frac{D_{\min}^{(3B)}}{M^{(3B)}}\right)^2 \right] - \left[1 - \exp\left(\frac{D_{\min}^{(ABT)}}{M^{(ABT)}}\right) \right]; D_{\min} > 0 \quad \vee \\ \vee \Delta P_{\text{он1}} &= P_{\text{он1}}^{(3B)} - P_{\text{он1}}^{(ABT)} = 0,5[1 + \Phi(Z^{(3B)})] - 0,5[1 + \Phi(Z^{(ABT)})]; D_{\min1} > 0, \\ Z^{(3B)} &= D_{\min1}^{(3B)} \sqrt{\frac{2}{M^{(3B)}}}, \quad Z^{(ABT)} = D_{\min1}^{(ABT)} \sqrt{\frac{2}{M^{(ABT)}}}, \end{aligned}$$

де $P_{\text{он}}^{(3B)}$, $P_{\text{он}}^{(ABT)}$ – ймовірність навігаційної безпеки плавання при звичайному і автоматичному способі отримання поправок; $D_{\min}^{(3B)}$, $D_{\min}^{(ABT)}$ – найкоротша відстань до найближчої навігаційної небезпеки з лімітованим значенням глибин при звичайному і автоматичному способі отримання поправок; $P_{\text{он1}}^{(3B)}$, $P_{\text{он1}}^{(ABT)}$ – ймовірність навігаційної безпеки плавання при звичайному і автоматичному способі отримання поправок при розташуванні навігаційних небезпек по одному

борту судна; $D_{\min 1}^{(3B)}$, $D_{\min 1}^{(ABT)}$ – найкоротша відстань до найближчої навігаційної небезпеки з лімітованим значенням глибин при звичайному і автоматичному способі отримання поправок при розташуванні навігаційних небезпек по одному борту судна.

При розрахунках $P_{\text{бп}}^{(3B)}$, $P_{\text{бп}}^{(ABT)}$ використовується функція кругового розподілу Релея. Ймовірності розраховуються по аргументах $\frac{D_{\min}^{(3B)}}{M^{(3B)}}$, $\frac{D_{\min}^{(ABT)}}{M^{(ABT)}}$ за допомогою таблиці 4.18 МТ-2000 [108].

При розрахунках $P_{\text{бп1}}^{(3B)}$, $P_{\text{бп1}}^{(ABT)}$ використовується функція Лапласа. Ймовірності розраховуються по аргументах $Z^{(3B)}$, $Z^{(ABT)}$ за допомогою таблиці 4.19 МТ-2000 [108].

Розрахунок:

$$\text{Таблиця 4.18} \xrightarrow[D^{(3B)}_{\min}=0,38]{M^{(3B)}=0,02} P_{\text{бп}}^{(3B)} = 0,95, \quad \text{таблиця 4.18} \xrightarrow[D^{(ABT)}_{\min}=0,39]{M^{(ABT)}=0,02} P_{\text{бп}}^{(ABT)} = 0,97.$$

Підвищення $\Delta P_{\text{бп}}$ відбудеться на 0,02.

$$\text{Таблиця 4.19} \xrightarrow[D^{(3B)}_{\min 1}=0,28]{M^{(3B)}=0,02} P_{\text{бп1}}^{(3B)} = 0,95, \quad \text{таблиця 4.19} \xrightarrow[D^{(ABT)}_{\min 1}=0,37]{M^{(ABT)}=0,02} P_{\text{бп1}}^{(ABT)} = 0,97.$$

Підвищення $\Delta P_{\text{бп1}}$ відбудеться на 0,02.

2. Тимчасові показники ($W_{\text{Тч}}$).

$W_{\text{Тч}}$ характеризують скорочення термінів і кількості ланок при проходженні інформації про глибини:

а) скорочення термінів δT_d при проходженні інформації про глибини (depth)

$$\delta T_d = \frac{T_d^{(3B)}}{T_d^{(ABT)}}.$$

Розрахунок:

скорочення часу δT_d відбудеться в $\frac{4x\epsilon}{0,1 x\epsilon} = 40$ разів.

б) скорочення кількості ланок δN при проходженні інформації про глибини

$$\delta N = \frac{N^{(3B)}}{N^{(ABT)}}.$$

Розрахунок:

скорочення кількості ланок δN відбудеться в $\frac{10}{2} = 5$ разів.

3. Показники надійності (W_H).

Як було зазначено вище, в даний час проводяться дисертаційні дослідження по обладнанню берегової інфраструктури для автоматизованої передачі поправок до глибин, включаючи розробку трьох складових надійності (надійність, готовність і зручність обслуговування).

Test C. Показники технічної ефективності мережі (W_T).

За допомогою показників W_T оцінюємо ефективність мережі як складної апаратно-програмної системи при роботі її в різних режимах. Показники групи W_T використовуються для кількісної оцінки ефективності всієї мережі і її окремих систем.

Для оцінки технічної ефективності мережі автоматизованої передачі поправок використані наступні показники:

$$W_T = \{ W_{ПЗ}, T_{ЗС}, \delta_{WS}, \delta_{WS}(\Delta t, t), \mu \},$$

1. $W_{ПЗ}$ – пропускна здатність мережі.

Середній потік даних, що фактично передаються через мережу, складає ≈ 1 Мбит/с.

2. Затримка у мережі $T_{ЗС}$, тобто час доставки повідомлення від WS до оператора Inland ECDIS, складає 120 – 140 мсек.

3. Інтегральна пропускна здатність δ_{WS} ланки мережі (WS) на відрізьку часу $[0, t]$

$$\delta_{WS} = \frac{n_0(0, t)}{n_{WS}(0, t)}$$

де $n_o(0,t)$, $n_{ws}(0,t)$ – число запитів, обслужених ланкою мережі (WS) в інтервалі часу $[0, t]$, і таких, що надійшли на цьому ж інтервалі.

$$\delta_{ws} = \frac{27}{27} \cdot 100\% = 100\% \text{ (за добу).}$$

Розрахунок δ_{ws} показує, що WS справляється з обслуговуванням суден від моменту початку відліку роботи до певного моменту t (наприклад, за добу, місяць).

4. Динамічна пропускна здатність $\delta_{ws}(\Delta t, t)$

$$\delta_{ws}(\Delta t, t) = \frac{n_o(\Delta t, t)}{n_{ws}(\Delta t, t)},$$

де $n_o(\Delta t, t)$ – число запитів на WS від суден на невеликому інтервалі Δt до моменту часу t ; $n_{ws}(\Delta t, t)$ – число відповідей, що надійшли на судна, на інтервалі Δt і до моменту часу t .

$$\delta_{ws}(\Delta t, t) = \frac{27}{27} \cdot 100\% = 100\% \text{ (за добу).}$$

Розрахунок $\delta_{ws}(\Delta t, t)$ показує, що WS справляється з обслуговуванням суден на будь-якому заданому відрізьку часу Δt до поточного моменту t .

5. Максимально можливе число активних абонентів μ – не обмежується.

Test D. Показники економічної ефективності мережі (W_E).

Для оцінки W_E використовуємо дві групи показників: інтегральні W_{EI} і окремі W_{EO} .

$$W_E = \{W_{EI}, W_{EO}\}.$$

Слід зазначити, що розрахунки W_{EI} і W_{EO} проведені шляхом апіорної (очікуваної) оцінки. Апостеріорна (фактична) оцінка проводиться при дисертаційних дослідженнях по обладнанню берегової інфраструктури для автоматизованої передачі поправок до глибин, як було зазначено вище.

1. За допомогою W_{EI} оцінюється загальний (інтегральний) ефект.

$$W_{EI} = \{E_P, T_{OK}\},$$

a) E_P – річний економічний ефект, грн;

$$E_P = \sum_{i=1}^n Q_{in} - \sum_{j=1}^m R_{jm},$$

де $\sum_{i=1}^n Q_{in}$ – річна економія при відмові від установки берегових і плавучих ЗНО і лоцманського принципу судноводіння (річкова е-навігація); $\sum_{j=1}^m R_{jm}$ – витрати на обслуговування мережі передачі автоматизованих поправок до глибин.

Розрахунок:

$$E_P = 45,2 \text{ млн. грн} - 0,2 \text{ млн. грн} = 45 \text{ млн. грн.}$$

b) T_{OK} – термін окупності капітальних вкладень, рік.

$$T_{OK} \approx 1,5 \text{ року.}$$

Використання досліджуваної системи економічно доцільне, тому що виконуються умови

$$E_{\Delta} \geq E_H \ \& \ T_{OK} \geq T_H,$$

де T_H – нормативний термін окупності капітальних вкладень; E_H – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень.

2. За допомогою W_{EO} оцінюємо окремий економічний ефект, що отримується за окремими джерелами економії. В даному випадку

$$W_{EO} = \{W_{EP}, W_{ET}\},$$

де W_{EP} – показник економії палива; W_{ET} – показник економії при проведенні тренажерної підготовки операторів Inland ECDIS.

Економія палива W_{EP} складає

$W_{EP} \approx 0,2$ т за добу (простої, вибір оптимального маршруту та інш.).

а) Економія W_{ET} при проведенні тренажерної підготовки операторів Inland ECDIS – додаткова підготовка не потрібна.

4.4. Сфера застосування розроблених методів і пропозиції щодо подальших досліджень

1. Сфера застосування розроблених методів – галузь морського і річкового транспорту при взаємодії з Українським Гідрометеорологічним центром (гідрологічний режим) і МОН України (навчання).

Розробка і впровадження методів реалізації обчислювального інтелекту при використанні деталізованого масиву глибин в Inland ECDIS усуне відставання в розвитку сучасних транспортних технологій і прискорить процес інтеграції, що відбувається в Європейському союзі. Слід врахувати, що проблема оновлення відображуваного масиву глибин на SENC не вирішена і розглядалася тільки на рівні пропозицій і гіпотез.

Крім того, на ВВШ України гостро постала проблема, яка пов'язана із застосуванням системи ІМН (річкової е-навігації), основою якої є результати досліджень з автоматизації нанесення фактичних глибин на SENC. Вирішення зазначеної проблеми, по-перше, підвищить ймовірність безпечного плавання суден, по-друге, спростить завдання переведення експлуатації суднового ходу річки Дніпро на мови особливого періоду, по-третє, ставить під сумнів саму необхідність деталізації масиву глибин на ENC, оскільки: дані про глибини на ВВШ швидко застарівають, а для безпеки судноплавства набагато важливіше точне зазначення положення фарватеру. У разі використання ENC із застарілим масивом глибин виникнуть передумови для перевірки відомостей, отриманих від Inland ECDIS.

Пропозиції щодо подальших досліджень:

а) використання результатів дослідження при створенні системи ІМН (річкової е-навігації) в рамках дисертаційного дослідження, що проводиться за темою «Підвищення ефективності експлуатації водного транспорту шляхом використання інструментального методу навігації на ВВШ України» затвердженою вченою радою ДУІТ (протокол від 24.11.16 № 16).

Так, впровадження ІМН на ВВШ України має розглядатися як системний об'єкт з урахуванням його системного характеру, тобто не як єдине ціле, а як комплекс взаємопов'язаних складових елементів, їх властивостей і процесів.

Система ІМН – це набір об'єктів, що мають інтегральні властивості і закономірності, а також набір зв'язків між об'єктами і їх властивостями.

Множина A складових елементів системи ІМН описується у вигляді

$$A = \{a_i\}, i = 1, \dots, n,$$

де a_i – i -й елемент системи; n – число елементів у системі.

Кожний елемент a_i характеризується конкретними властивостями Z_{i1}, \dots, Z_{im} , які однозначно визначають його у даній системі.

Сукупність усіх властивостей m елемента a_i є стан елемента Z_i

$$Z_i = (Z_{i1}, Z_{i2}, Z_{i3}, \dots, Z_{ik}, \dots, Z_{im}).$$

Послідовні зміни стану елемента це є рух елемента.

$$Q = \{q_{ij}\}, i, j = 1, \dots, n, \quad D = \{A, Q\},$$

де Q – множина зв'язків між елементами a_i і a_j ; D – сукупність елементів системи і зв'язків між ними.

$$Z = (Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_k, \dots, Z_m),$$

де Z – стан системи (сукупність станів її n елементів і зв'язків між ними).

Можливі стани такої реальної системи утворюють деяку підобласть Z_{CD} (множина допустимих станів системи). Система ІМН має властивості рівноваги, стійкості і здатна переходити з одного стану в інший

$$s_1 \rightarrow s_2 \rightarrow s_3 \rightarrow \dots, \Rightarrow s(t) = [s(t-1), y(t), x(t)].$$

Однією із складових елементів ІМН є підсистема автоматизації нанесення фактичних глибин на SENC;

б) використання результатів дослідження при проведенні структурних перетворень об'єктів зовнішнього середовища в рамках дисертаційного дослідження, що проводиться за темою «Структурне моделювання та диференціальні символічні перетворення системи відображення фактичних глибин на електронній карті», затвердженою вченою радою ДУІТ (протокол від 08.12.17 № 1).

Метою вказаного дисертаційного дослідження є побудова моделі перетворення об'єктів зовнішнього середовища в умовах сучасного методу річкової е-навігації. Перспективи подальших досліджень можуть полягати у створенні послідовних методів розрахунку комплексу запропонованих показників, оптимізації їхніх програмних реалізацій, а також в експериментальному дослідженні запропонованих методів;

с) використання результатів дослідження при впровадженні нових, конструктивних підходів до створення та оновлення баз даних навігаційної інформації Inland ENC на ВВШ України, що безумовно, забезпечить підвищення безпеки судноплавства.

Одним з конструктивних підходів є створення додаткової бібліотеки об'єктів, відмова від кодування відміток глибин і обов'язкове кодування області фарватеру. Наприклад, в Австрії кодуються тільки ізобати. У США також кодуються тільки ізобати, позначки глибин відсутні. На ВВШ США плавучі ЗНО застосовуються лише в деяких місцях, а берегові ЗНО майже відсутні. Такий підхід можна пояснити необхідністю мати Inland ENC, що створені на достовірній базі даних, в

тому числі на підставі фактичного оновленого масиву глибин, і фактично повною відмовою від лоцманського принципу судноводіння (р. Міссісіпі);

d) використання результатів дослідження при вирішенні ряду додаткових задач: зменшення навантаження відображення ENC; зменшення тимчасових витрат і вартості виробництва осередків ENC; відмова від лоцманського принципу судноводіння; відмова від установки берегових і плавучих ЗНО, використання суднового ходу в особливий період.

Механізм реалізації полягає в системному науково обґрунтованому підході до автоматизації і періодичності оновлення деталізованого масиву глибин на SENC для підвищення безпеки руху ВТЗ з урахуванням специфіки функціонування транспортної системи й обороноздатності України;

e) використання результатів дослідження в навчальному процесі факультету судноводіння ДУІТ при вивченні дисциплін: «Навігаційно-інформаційні комп'ютерні системи з електронними картами», «Навігація і лоція»;

f) на підставі запропонованих в дисертації алгоритмів розробити програмне забезпечення (ПЗ), включаючи ПЗ і тестові завдання для автоматичної перевірки базової версії Inland ECDIS;

g) впровадження розроблених методів щодо цілеспрямованої автоматизації процесів експлуатації ВТЗ, своєчасного передбачення розвитку подій з впливом на стаціонарні фактори навколишнього середовища. Це обумовлено неузгодженістю етапів руху з оперативними можливостями видання завдань по функціонуванню ВТЗ;

h) доопрацювання стандарту обміну інформацією S-57 для електронних карт та електронних навігаційно-інформаційних систем, створення єдиного удосконаленого стандарту при плаванні на морі і на ВВШ. Необхідність такого доопрацювання підтверджується експлуатацією суден типу «ріка – море»;

i) дослідження можливих ризиків передоручення використання Inland ECDIS. Це обумовлено тим, що величезна кількість Inland ENC може містити грубі помилки, які можуть призвести до серйозних наслідків, якщо будуть використовуватися в якості єдиного джерела навігаційної інформації;

j) дослідження інформаційної напруженості судноводія в роботі з інтерфейсом Inland ECDIS, яка призводить до зниження стійкості уваги. Велика кількість зайвої інформації на дисплеї Inland ECDIS призводить до розкладення її на основну і неосновну, причому кількість неосновної інформації може слугувати перешкодою для своєчасного прийняття правильного рішення. Цей недолік Inland ECDIS свідчить про пріоритетність на теперішній час візуального спостереження.

Висновки по РОЗДІЛУ 4

1. Визначені програма експериментальних досліджень запропонованих методів і шляхи виконання апріорної оцінки досліджень з метою визначення очікуваної ефективності та доцільності реалізації запропонованої технології до етапу експлуатації.

Програма експериментальних досліджень базується на запропонованих методах ефективної обробки потоку навігаційних даних від зовнішнього середовища до електронно-картографічної системи при експлуатації водного транспорту в умовах інструментального методу навігації (річкової е-навігації). Для здійснення апріорної оцінки застосовані методи математичного моделювання.

2. На підставі аналізу навігаційно-гідрографічної інформації та картографічного забезпечення безпеки судноплавства на р. Дніпро розроблений модульний принцип формування типових ділянок, де в якості модулів обрані ділянки судноплавства, відповідні зоні зображення Inland ENC. Обрані й обґрунтовані акваторії, включаючи протяжність і складність ділянок сформовані з урахуванням діючих нормативів по навігаційно-гідрографічній і гідрологічній забезпеченості.

3. Для проведення випробувань обрані технічні засоби вимірювання імітаційного модулювання, показники та формули ефективності, що характеризують імітаційне моделювання та експериментальні дослідження обраних методів.

4. Визначені критерії інтелектуальної обробки потоків навігаційних даних.

5. Визначена методика експериментальних досліджень у вигляді 9 тестів.

6. Проведені експериментальні дослідження, їх математична обробка і отримані результати досліджень за пропонованою технологією. Проведений порівняльний аналіз експериментальних досліджень згідно з існуючою та пропонованою технологією. Виявлені недоліки застосування електронно-картографічних засобів при існуючій технології їх використання.

7. Здійснений розрахунок показників та оцінка ефективності пропонованої технології. З метою визначення очікуваної ефективності та доцільності реалізації пропонованої технології до етапу експлуатації застосована апріорна оцінка ефективності.

8. Отримані результати експериментальних досліджень підтверджують ефективність запропонованих методів ефективного використання водного транспорту, об'єктів берегової інфраструктури за допомогою засобів електронно-картографічної інтелектуалізації при змінах умов експлуатації.

9. Запропоновані методи дозволяють підвищити точність навігаційних параметрів (поправок до глибин) на 10 %; скоротити час для прийняття рішення з безпеки судноплавства вахтовим помічником капітана в 10 разів; підвищити точність розрахунку СКП вихідного сигналу від WS в 4 рази; підвищити ефективність несення навігаційної вахти в частині скорочення часу на виконання завдання з визначення безпечних глибин на фарватері на 30 %; підвищити ймовірність безпечного плавання до 0,97 за рахунок своєчасного виявлення небезпек з лімітованими значеннями глибин; скоротити кількість ланок при проходженні інформації про глибини в 5 разів; середній потік даних, що фактично передаються через мережу, пропонується ≈ 1 Мбит/с; затримка у мережі, тобто час доставки повідомлення від WS до оператора Inland ECDIS

пропонується 120 – 140 мсек; інтегральна і динамічна пропускна здатність мережі складає 100 %, тобто розрахунок показує, що берегова інфраструктура справляється з обслуговуванням суден на будь-якому заданому відрізку часу; максимально можливе число активних абонентів – не обмежується; річний економічний ефект складає 45 млн. грн, термін окупності капітальних вкладень складає $\approx 1,5$ року; економія палива складає $\approx 0,2$ т за добу (простої, вибір оптимального маршруту та ін.); додаткова тренажерна підготовка операторів Inland ECDIS не потрібна.

10. Здійснено обґрунтування сфери застосування розроблених методів для експлуатації об'єктів водного транспорту на внутрішніх водних шляхах України.

11. Сформульовані пропозиції та рекомендації щодо подальших досліджень.

ВИСНОВКИ

1. Оцінка стану питання. Основні положення та основні напрями досліджень ґрунтуються на результатах аналізу сучасного стану функціонування засобів електронно-картографічної інтелектуалізації, об'єктів берегової інфраструктури, аналітичного огляду тенденцій розвитку їх базових математичних моделей, огляду та аналізу літературних джерел за темою дослідження. У результаті проведених у дисертації досліджень запропоновано науково-технічне вирішення завдань з підвищення ймовірності безпеки руху і ефективного використання водного транспорту за допомогою додаткових методів реалізації обчислювального інтелекту при використанні деталізованого масиву глибин в Inland ECDIS.

Дисертаційне дослідження містить теоретичне узагальнення щодо ефективного використання водного транспорту шляхом розробки нового способу відображення фактичних глибин у SENC Inland ECDIS, який відрізняється автоматизованим формуванням і передачею диференційних поправок до глибин на судно. Розроблений спосіб реалізований у технічному рішенні, яке пройшло перевірку у тренажерних центрах, в Річковій інформаційній службі філії «Дельта-лоцман», в ДУ «Держгідрографія», в електронно-картографічних системах на судах «Vectis Isle» і «Wilson Gaeta».

2. Формулювання вирішеної наукової задачі, її значення для науки і практики. Розв'язана наукова задача щодо використання деталізованого масиву глибин та автоматизації його поновлення в Inland ECDIS сприятиме вирішенню прикладних задач для підвищення безпеки руху ВТЗ з урахуванням специфіки функціонування транспортної системи України. Механізмом реалізації наукової задачі став застосований системний науково обґрунтований підхід до автоматизації і періодичності оновлення деталізованого масиву глибин у SENC. Окрему групу завдань застосованого системного аналізу склали завдання дослідження комплексу взаємодій аналізованих об'єктів із зовнішнім середовищем.

При вирішенні наукової задачі в роботі отримані рішення окремих складових задач у вигляді наукових результатів, що містять наукову новизну:

- вперше запропонована модель оптимізації структури відображення фактичних глибин на SENC, яка відрізняється від відомих раніше інтеграцією (методів) процедур системного та ситуаційного аналізу, в різних надзвичайних умовах річкового судноводіння;
- вперше отримана математична модель автоматизованого визначення диференціальних поправок до глибин, які позначені на SENC, яка дозволяє, на відміну від існуючих, забезпечити відображення фактичних глибин на SENC для розв'язання оперативних задач навігації згідно з точнісними критеріями судноплавства;
- удосконалено метод забезпечення функціональної стійкості системи автоматичного відображення фактичних глибин на SENC, що дозволяє, на відміну від існуючих, забезпечити своєчасне виявлення мережевих аномалій у системі;
- набуло подальшого розвитку метод застосування нейронних мереж шляхом розв'язання процедури класифікації вхідних сигналів і обчислення зворотного поширення помилки, що дозволяє, на відміну від існуючих, підвищити точність визначення фактичних глибин на SENC.

3. Висновки і рекомендації щодо наукового та практичного використання отриманих результатів. Основні теоретичні і практичні результати, отримані в дисертації, можуть бути використані розробниками навігаційних інформаційних систем, призначених для локально-незалежного управління процесом судноплавства на внутрішніх водних шляхах України, при експлуатації суден, модернізації берегової інфраструктури, а також в процесі навчання і підвищення кваліфікації судноводіїв.

4. Якісні та кількісні показники отриманих результатів. Якісним показником результатів дисертаційної роботи є оперативне отримання областей з безперервним відображенням фактичних значень глибин у SENC для вибору безпечного маневру судна.

Як показало імітаційне моделювання впровадження результатів дисертаційної роботи має високу ефективність, по-перше, дозволить підвищити ймовірність безпечного плавання суден, по-друге, підвищити точність навігаційних параметрів (поправок до глибин); по-третє, скоротити час для прийняття рішення щодо забезпечення безпеки судноплавства вахтовим помічником капітана; підвищити ефективність несення навігаційної вахти в частині скорочення часу на виконання завдання з визначення безпечних глибин на фарватері.

5. Обґрунтування достовірності отриманих результатів. Достовірність отриманих результатів підтверджується конкретизованим завданням дослідження, математичною суворістю досліджень, врахуванням суттєвих факторів, які впливають на ефективність експлуатації водного транспорту за допомогою засобів електронно-картографічної інтелектуалізації, використанням апробованого математичного апарату, а також збіжністю теоретичних результатів з результатами щодо обробці експериментальних даних, несуперечністю з відомими результатами. Усі твердження підтверджені посиланнями на джерела. Результати експериментів відповідають викладеній теорії. Це дає підстави вважати отримані результати достатньо обґрунтованими і достовірними, що задовольняють загальноприйнятим критеріям достовірності.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Акулич, И. Л. Математическое программирование в примерах и задачах: учебное пособие / Акулич И. Л. — М. : Высш. шк., 1986.— 134 с.
2. Алейніков, В. М. Актуальні проблеми експлуатації Inland ECDIS на ВВШ України / В. М. Алейніков // 18-та науково-методична конференція викладачів, аспірантів та студентів : матеріали наук.-метод. конф., 24-28 березня 2014 р., м. Київ / МОН України, Київська держ. акад. водн. тр-ту. — Київ : КДАВТ, 2014.— С. 81-82.
3. Алейніков, В. М. Актуальні питання перспективного розвитку електронно-картографічних систем на акваторії річки Дніпро / В. М. Алейніков // 20-та науково-методична конференція викладачів, аспірантів та студентів : матеріали наук.-метод. конф., 29-31 березня 2016 р., м. Київ / МОН України, Київська держ. акад. водн. тр-ту. — Київ : КДАВТ, 2016.— С. 122-123.
4. Алейніков, В. М. Застосування критеріїв оцінки функціональної стійкості інструментального методу навігації на ВВШ України / В. М. Алейніков // 21-а науково-методична конференція викладачів, аспірантів та студентів : матеріали наук.-метод. конф., 27-29 березня 2017 р., м. Київ / МОН України, Київська держ. акад. водн. тр-ту. — Київ : КДАВТ, 2017.— С. 117-120.
5. Алейніков, В. М. Метод отримання диференціальних поправок до вимірних глибин, які позначені на системній електронній карті / В. М. Алейніков // Науково-методична конференція : матеріали наук.-метод. конф., 26-29 березня 2018 р., м. Київ / МОН України, Держ. ун-т інфрастр. і технол. — Київ : ДУІТ, 2018.— С. 41-44.
6. Алейніков, В. М. Геометричне моделювання нелінійних задач навігації з врахуванням впливу деталізованого масиву глибин в електронно-картографічних системах / В. М. Алейніков // Перша всеукраїнська науково-технічна конференція «Проблеми інфокомунікацій» : матеріали наук.-техн. конф., 14-15 листопада 2017

- р., м. Полтава / М-во освіти і науки України, Полтав. нац. техн. ун-т.— Полтава: ВКСС ВІТІ, 2017. — С. 52 – 53.
7. Алейніков, В. М. Методи прийняття рішень в умовах невизначеності на акваторіях судноводіння / В. М. Алейніков, Г. Л. Баранов, В. В. Доронін // Міжнародна наукова конференція «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту (ISDMCI '2016), 24-28 травня 2016 р., м. Херсон.— Херсон: Видавн. ПП Вишемирський В. С., 2016. — С. 31 – 32.
8. Aleynikov, V. M. (2017). Application of Evaluation Criteria of Functional Sustainability Instrumental Method of Navigation on Ukraine's Inland Waterways / V. V. Doronin, M. V. Aleynikov, V. M. Aleynikov // International Conference (ISDMCI'2017). Intellectual Systems for Decision Making and Problems of Computational Intelligence: Conference Proceedings.— Kherson: PP Vyshemirsky V. S., 2017. 178 – 179 pp.
9. Алейніков В. М. Багатокритеріальна модель обробки навігаційних даних в річкових електронно-картографічних системах / В.М. Алейніков, М.В. Алейніков, В. В. Доронін // Міжнародна наукова конференція «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту», 21-27 травня 2018 р., м. Херсон. — Херсон: Видавн. ПП Вишемирський В. С., 2018. — С. 152 – 154.
10. Алейніков, В. М. Використання обчислювального інтелекту при виявленні дефектів функціонування базової версії програмного продукту ECDIS / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Водний транспорт. Збірник наукових праць. — 2016. — № 2 (25). — С. 54 – 63.
11. Алейніков, В. М. Застосування критеріїв оцінки функціональної стійкості інструментального методу навігації на ВВШ України / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Новітні технології. Збірник наукових праць. — 2019. — № 1 (8). — С. 21-29.
12. Aleynikov, V., Panin, V., Doronin, V. (2018). Application of the System Analysis of Implementation of the Instrumental Method of Navigation on Inland Waterways of

Ukraine. Radio Electronics, Computer Science, Control. The scientific journal of Zaporizhzhia National Technical University, 2 (45), 125-134.

13. Алейніков, В. М. Методи реалізації обчислювального інтелекту при використанні деталізованого масиву глибин в річкових електронно-картографічних системах / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Вісник Одеського національного морського університету. — 2018. — № 1 (54). — С. 158-181.

14. Алейніков, В. М. Контекстно-орієнтований підхід в інтелектуальній обробці потоків даних від водомірних постів при русі судна / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. Науковий журнал. — 2017. — № 2 (17). — С. 27-35.

15. Алейніков, В. М. Структурні перетворення об'єктів зовнішнього середовища в умовах річкової е-навігації / В. М. Алейніков, В. В. Доронін, О. М. Спіян // Вісник Одеського національного морського університету. — 2018. — № 3 (56). — С. 175-196.

16. Алейніков, В. М. Оптимізація алгоритму дій вахтового помічника при плануванні та здійсненні рейсу судна з використанням ECDIS : магістр. дис. : 05.22.10 / Алейніков Владислав Михайлович ; КДАВТ.— К., 2017.— 121 с.

17. Алексеев, С. П. О системном решении актуальных проблем безопасности плавания по внутренним водным путям. Навигация и гидрография / С. П. Алексеев, П. Г. Бродский, В. А. Катенин // Сборник трудов ГНИНГИ. — 2010. — № 29. — С. 34 – 45.

18. Aydogdu, E. Yalcin, C., Yurtorren, S. (2014). A Discussion on e-Navigation and Implementation in Turkey. TransNav. International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 8(1), 81 – 87.

19. Ackalic, T., Maslaric, M. (2012). Navigation conditions and the risk management in inland waterway transport on the middle Danube. Transport Problems, 7(4), 13 – 24.

20. Байрашевский, А. М. Справочник по судовому оборудованию радиосвязи и радионавигации. Т. 2: Оборудование радионавигации / А. М. Байрашевский, А. В. Жерлаков. — Л: Судостроение, 1979. — 84 с.
21. Барабаш, О. В. Функціональна стійкість – властивість складних технічних систем / О. В. Барабаш //Збірник наукових праць НАОУ. — 2012. — № 40. — С. 225 – 229.
22. Баранов, Ю. К. Навигация : учебн. пособие / Ю. К. Баранов, М. И. Гаврюк, В. А. Логиновский, Ю. А. Песков. — СПб.: Издательство Лань, 1997. — 512 с.
23. Берталанфи, Л. Фон. Общая теория систем: критический обзор: монография / Л. Фон. — Москва : «Прогресс». 2012. — С. 82.
24. Богомья, В. І. Навігаційне забезпечення управління судном: кол. моногр. / В. І.Богомья, В. С. Давидов, В. В.Доронін, В. Д. Пашков, І. В. Тихонов.— К. : Міністерство освіти і науки, 2012. — 335 с.
25. Бокова, О. И. Анализ эффективности функционирования радиотехнических устройств ЕИТКС ОВД с помощью показателей качества, построенных на основе методов теории эффективности / О. И. Бокова, С. В. Ефимов // Вестник Воронежского института МВД. — 2009. — № 1. — С 56 – 64.
26. Буслов, И. П. Морская картография: справочник / И. В. Шубаков, И. П. Буслов, Мартыненко В. Т. и др. — Кн. 1, Ч. 1, 2 — Одесса : ТЭС, 2003.— 179 с.
27. Бураков, М. В. Нейронные сети и нейроконтроллеры: учеб. пособие / М. В. Бураков. — СПб.: ГУАП, 2013 — 284 с.
28. Буров, Н. И. Электронные навигационные карты : учебн. пособие / Н. И. Буров. — Одесса: ОГМА, 2000. — 147 с.
29. Brcic, D., Serdjo, Kos., Zułkin, S. (2015). Navigation with ECDIS: Choosing the Proper Secondary Positioning Source. TransNav. International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 9(3), 317 – 326.
30. Buckley, J. J., Hayashi, Y. (1994). Fuzzy neural networks: A survey. Fuzzy Sets and Systems, 66 (1), 1–13.doi: 10.1016/0165- 0114(94)90297-6.

31. Borup, O. (2012). One report for each of the e-Navigation components Date. e-Navigation Underway. International Conference on e- Navigation. m/s Crown of Scandinavia, 2012. Jointly organized by the EfficienSea project and the IALA. Supported by the Nautical Institute and the International Association for Marine Electronics Companies. Conference Report, 9. Access mode: http://efficiensea.org/files/mainoutputs/wp4/efficiensea_wp4_16.pdf (application date 27.07.2020).
32. Вагущенко, Л. Л. Современные информационные технологии в судовождении : учеб. пособ. / Л. Л. Вагущенко. — Одесса : ОНМА, 2013. — 135 с.
33. Вагущенко, Л. Л. Судовые навигационно-информационные системы : учебн. пособие / Л. Л. Вагущенко.— Одесса: Феникс, 2004. — 302 с.
34. Вагущенко. Л. Л. Интегрированные системы ходового мостика : учебн. пособие / Л. Л. Вагущенко. — Одесса: Латстар, 2003. — 169 с.
35. Вагущенко, Л. Л. Системы автоматического управления движением судна : учебн. пособие / Л. Л. Вагущенко, Н. Н.Цымбал. — Одесса : ОНМА, 2002. – 210 с.
36. Вагущенко, Л. Л. Системы автоматического управления движением судна: 3-е изд., перераб. и доп. / Л. Л. Вагущенко, Н. Н. Цымбал. — Одесса : Феникс, 2007. — 328 с.
37. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей: учебник для ВТУЗов / Е. С. Вентцель. — М. : Наука, 1969. — 576 с.
38. Вержбицкий, В. М. Основы численных методов: учебник. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://mathhelpplanet.com/viewtopic.php?f=34&t=3814> (дата звернення 27.07.2020).
39. Волков, А. Б. Новые инфокоммуникационные системы для внутреннего водного транспорта / А. Б. Волков // Морская биржа. — 2009. — № 2 (27). — С. 35–38.
40. Weintrit, A. (2010). Telematic Approach to e-Navigation Architecture, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1- 10.

41. Watson, H., Bulding, J. (2010). Executive Information Systems and other Decision Support Applications [Text]. New York: John Wiley & Sons Inc, 290 – 301.
42. Valcic, M., Antonic, R., & Tomas, V. (2011). Based Model for Ship Speed Prediction. Brodo Gradnja, 62 (4), 373–382.
43. Valette, J. (2015). D2.4 Analysis report on available and emerging communications technologies. Project acronym: EfficienSea2. [Electronic resource]. Access mode:
https://efficiensea2.org/wp-content/uploads/2016/05/Efficiensea2_Analysis-report-on-emerging-communication-technologies-deliverable2.4.pdf (application date 27.07.2020).
44. Гагарский, Д. А. Электронные картографические системы в современном судовождении : учебн. пособие / Д. А. Гагарский. — СПб. : ГМА имени адмирала Макарова, 2007. — 74 с.
45. Гилл, Ф. Практическая оптимизация / Ф. Гилл, У. Мюррей, М. Райт// пер. с англ. — М.: Мир, 1985. — 96 с.
46. Деева, А. С. Методы контроля и диагностики информационных нарушений инерциальных навигационных систем / А. С. Деева // Вестник Южно-Уральского государственного университета : серия: компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. — 2010. — № 2 (178). — С. 21–25.
47. Дёч, Г. Г. Руководство к практическому применению преобразования Лапласа и Z-преобразования : монография / Г. Г. Дёч. — М. : Наука, 1991.— 288 с.
48. Дерябин, В. В. Обзор исследований, посвященных использованию нейросетевых технологий в судовождении / В. В. Дерябин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 6(34). — С. 29-43.
49. Доронін, В. В. Методи підвищення ефективності експлуатації водного транспорту засобами електронно-картографічної інтелектуалізації : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / Доронін Володимир Васильович ; КДАВТ.— К., 2016.— 277 с.

50. Доронин, В. В. Судовые навигационно-информационные компьютерные системы с электронными картами : курс лекций для студентов по направлениям подготовки специалистов и магистров дневной и заочной формы обучения. Ч. 1 / В. В. Доронин. — К. : КДАВТ, 2017.— 180 с.
51. Доронин, В. В. Судовые навигационно-информационные компьютерные системы с электронными картами : курс лекций для студентов по направлениям подготовки специалистов и магистров дневной и заочной формы обучения. Ч. 2 / В. В. Доронин. — К. : КДАВТ, 2017.— 84 с.
52. Доронін, В. В. Радіонавігаційні прилади та системи: навч. посібник / В. В. Доронін. — Київ : КДАВТ, 2007. — 472 с.
53. Доронін, В. В. Суднові навігаційні радіолокаційні станції : практ. посібник / В. В. Доронін, В. І. Воробей, Р. О. Роднянський. — Київ : КДАВТ, 2005. — 50 с.
54. Доронін, В. В. Актуальні проблеми впровадження і експлуатації ECDIS на українських судах / В. В. Доронін // Водний транспорт. Збірник наукових праць. — 2005. — № 7. — С. 11-14.
55. Доронін, В. В. Особливості моделювання та оцінювання діяльності оператора ECDIS / Доронін В. В. // Водний транспорт. Збірник наукових праць. — 2013. — № 2(17). — С.24-32.
56. Доронін, В. В. Системна технологія розв'язку оперативних задач навігації для синтезу законів експлуатації водного транспорту / В. В. Доронін // Системи обробки інформації. — 2015. — № 10 (135). — С. 186 – 191.
57. Доронін, В. В. Побудова нейромережевої експертної системи обробки навігаційних даних в умовах річкової e-навігації / В. В. Доронін, В. В. Панін, О. М. Сп'ян // Радіоелектроніка, інформатика, управління. Науковий журнал Запорізького національного технічного університету. — 2019. — № 1 (48) — С. 203 – 217.
58. Дли, М. И. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети : монография / М. И. Дли. — Москва : Физматлит, 2013. — С. 225.

59. Джексон, П. Информатика и вычислительная техника : монография / П. Джексон. — Москва : Вильямс, 2001. — 302 с.
60. Jwo, D. (2007). Neural network aided adaptive Kalman filter for GPS / INS navigation system design / Proceedings of 9th IFAC Workshop «Adaptation and learning in control and signal processing» (ALCOSP'07), 7.
61. Ермаков, С. М. Метод Монте-Карло в вычислительной математике. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docplayer.ru/25996972-S-m-ermakov-metod-monte-karlo-v-vychislitelnoy-matematike-vvodnyy-kurs.html> (дата звернення 27.07.2020).
62. Ермолаев, Г. Г. Морская лоция: 4-е изд., перераб. и доп. / Г. Г. Ермолаев. — М. : Транспорт, 1982. — 392 с.
63. Ebada, A. (2007). Intelligent techniques-based approach for ship maneuvering simulations and analysis (Artificial Neural Networks Application). Doktor-Ing. genehmigte Dissertation. Institute of Ship Technology and Transport Systems. Germany, 156–172.
64. Завітаєв, В. Л. Правила плавання на внутрішніх водних і прибережних морських шляхах України : навч. посібник / В. Л. Завітаєв. — Київ: ДУІТ, Київський інститут водного транспорту імені гетьмана Петра-Конашевича Сагайдачного, 2018. — 248 с.
65. Zak, B. (2001). Modelling of ship's motion using artificial neural networks. Advances in Neural Networks and Applications, World Scientific and Engineering Society Press, 298–303.
66. Zeiler, W. (2017). E Navigation, ECDIS & Autonomous Ships. [Electronic resource]. Access mode: <https://safety4sea.com/tag/ecdis/?sortby=recent&thecategory=2071> (application date 27.07.2020).
67. Zulkin, S., Brcic, D., Valcic, S. (2017). ECDIS Possibilities for BWE Adoption TransNav. International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 11(3), 477 – 482.

68. Иванов, Б.Е. Об особенностях решения навигационных задач при использовании распределения Лапласа / Б.Е. Иванов // Навигация и гидрография. — 2001. — № 12. — С. 67-69.
69. Иванов, Б. Е. Об оценке вероятности навигационной безопасности плавания с учетом неопределенности положения кромок фарватера / Б. Е. Иванов, В. А. Михальский, А. Н. Батуев // Навигация и гидрография. — 2004. — № 18. — С.17-19.
70. Иванов, Б. Е. О влиянии неопределенности положения кромок фарватера на вероятность навигационной безопасности плавания / Б. Е. Иванов // Навигация и гидрография. — 2004. — № 19. — С. 35-40.
71. Исмадова, Х.Р. Один способ интеграции экспертной базы знаний в систему тематического дешифрирования изображений / Х. Р. Исмадова, С. С. Талыбова, С. Н. Абдуллаева // Сб. научных трудов Бакинской Национальной Авиационной Академии. — 2004. — №1. — С.138-145.
72. Каретников, В. В. Перспективи розвитку електронних навігаційних карт внутрішніх водних шляхів Російської Федерації / В. В. Каретников, В. А. Бекряшев // Річковий транспорт (XXI століття). — 2014. — № 17. — С 30 – 33.
73. Катенин, В.А. Навигационно-гидрографическое обеспечение судоходства на внутренних водных путях : монография / В. А. Катенин, А. В. Зернов.— М.: Моркнига, 2010. — 344 с.
74. Катенин, В. А. Навигационное обеспечение судовождения : монография / В. А. Катенин, В. И. Дмитриев. — М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. — 374 с.
75. Каширина, И. Л. Искусственные нейронные сети : монография / И. Л. Каширина. — Москва : Издательский дом «Вильямс», 2005. — 51 с.
76. Кнут, Д. Э. Искусство программирования. Том 1. Основные алгоритмы / Д. Э. Кнут. — 3-е изд. перераб. — Издательский дом "Вильямс", 2001. — 720 с.
77. Кнут, Д. Э. Искусство программирования. Том 2. Получисленные алгоритмы : / Д. Э. — 3-е изд. перераб. — М.: Издательский дом "Вильямс", 2000. — 832 с.

78. Кнут, Д. Э. Искусство программирования. Том 3. Сортировка и поиск / Д. Э. Кнут Дональд Э. — 2-е изд. перераб.— М. : Издательский дом "Вильямс", 2000. — 832 с.
79. Колесников, А. В. Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем / А. В. Колесников. — Москва : ИПИ РАН, 2007. — 387 с.
80. Коломийчук, М. Д. Гідрографія : навч. посіб. / М. Д. Коломийчук. — СПб.: Видавництво ЦКФ ВМФ, 1988. — 366 с.
81. Коновалов, В. В. Судовые радионавигационные приборы: учебник для мореходных училищ / В.В. Коновалов и др. — М. : Транспорт, 1989. — 223 с.
82. Кормен, Т. Алгоритмы: построение и анализ : монография / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест. — М. : МЦНМО, 2001. — 960 с.
83. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. — М. : Наука, 1970. — 576 с.
84. Коршунов, Ю М.. Математические основы кибернетики : монография / Ю. М. Коршунов. — М. : Энергоатомиздат, 1972. — 276 с.
85. Кучер, А. В. Интеллектуальная система поддержки принятия решения на основе нечеткой логики для диагностики состояния сети передачи данных : учеб. пособие / А. В. Кучер. — Краснодар: ГОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», 2007. — 221 с.
86. Kazimierski, W., Grzegorz Z. (2017). Implementation of Voyage Assistant Module in Mobile Navigation System for Inland Waters. *TransNav. International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 11(4), 683 – 689.
87. Card, M. (2014). e-Navigation, The Continuous Development of the Concept of the Future. ACCSEAS Conference, Report, 1-8. [Electronic resource]. Access mode: <http://www.accseas.eu/> (application date 27.07.2020).
88. Kaygisiz, B. (2004). GPS. INS Enhancement for Land Navigation using Neural Network. *Journal of Navigation*. 2(57), 297-310. DOI: 10.1017/ S037346330400267X.

89. Koshevyu, V., Shyshkin, O. (2015). ECDIS Modernization for Enhancing Addressed VHF Communication TransNav. *International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 9(3), 327-331.
90. Лобастов, В. М. Управление работой ЭКС «Maptech Proffesional 3.0» : учеб. пособие / В. М. Лобастов. — Владивосток : ДВГМА, 2000. — 23 с.
91. Лобастов, В. М. Электронная картографическая система «dKart Navigator» : учеб. пособие / В. М. Лобастов. — Владивосток: МГУ им. адм. Г.И. Невельского. — 2004. — 80 с.
92. Лобастов, В. М. Электронные картографические системы в судовождении : учеб. пособие / В. М. Лобастов. — Владивосток : МГУ имени адмирала Невельского, 2009. — 167 с.
93. Луконин, В. П. Методы математической статистики в кораблевождении (навигации) : учебн. пособие / В. П. Луконин. — Л.: ВМА, 1987. — 285 с.
94. Луценко, И. А. Основы теории эффективности : монография / И. А. Луценко. — Канада, Altaspera Publishing & Literary Agency Inc., 2012. — 65 с.
95. Львовский, Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул: монография / Е. Н. Львовский. — М.: Высш. шк., 1988. — 239 с.
96. Lainiotis, D. (1993) Neural network application to ship position estimation. *Proceedings of Conference «OCEANS'93. Engineering in Harmonywith Ocean»*, 1384–1389.
97. Максимов, Ю. А. Алгоритмы решения задач нелинейного программирования : монография / Ю. А. Максимов, Е. А. Филлиповская. — М.: МИФИ, 1982. — 120 с.
98. Максимов, Ю. А. Алгоритмы линейного и дискретного программирования : монография / Ю. А. Максимов. — М.: МИФИ, 1980. — 95 с.
99. Мартыненко, А. И. Проблематика информационного обеспечения геоинформационных систем : монография / А. И. Мартыненко. — М.: Транспорт, 2000. — 67 с.

100. Малыхина, М. П. Оценка эффективности гибридизации интеллектуальных методов на примере нейросетевой экспертной системы на основе прецедентов / М. П. Малыхина, Ю. В. Бегман // Научный журнал КубГАУ. — 2013. — №86(02). — С 56 – 66.
101. Малыхина, М. П. Нейросетевая экспертная система на основе прецедентов для решения проблем абонентов сотовой сети : монография / М. П. Малыхина. — Краснодар : Юг, 2011. — 148 с.
102. Маценко, П. К. Руководство к решению задач по теории вероятностей: учебное пособие / П.К. Маценко, В.В. Селиванов. — Ульяновск: УЛГТУ, 2000. — 99 с.
103. Машков, О.А. Розвиток теорії функціональної стійкості як стійкості функціонала якості складної системи / О.А. Машков // Intellectual systems for decision making and problems of computational intelligence : матеріали міжнародної наукової конференції ISDMCI'2016, м. Херсон / МОН України, Херсонський національний технічний університет.— Полтава : Видавництво ПП Вишемирський В. С., 2016. — 382 с.
104. Меркушев, Н. С. Электронные навигационные морские карты и технические средства их отображения / Н. С. Меркушев, А. Ю. Обухов, Ю. А. Глухов // Сборник трудов ГНИНГИ МО РФ. Навигация и гидрография. — 2003. — № 17. — С. 45 – 54.
105. Меркушев, Н. С. Новые возможности корректуры электронных навигационных карт / Н.С. Меркушев, А.Ю. Обухов // Сборник трудов ГНИНГИ МО РФ. Навигация и гидрография. — 2003. — № 17. — С. 34 – 45.
106. Митропольский, А. К. Интеграл вероятностей : учебн. пособие / А. К. Митропольский. — Л.: ЛГУ, 1972. — 87 с.
107. Монаков, А. А. Основы математического моделирования радиотехнических систем: учебн. пособие / А. А. Монаков. — СПб. : ГУАП, 2005. — 100 с.
108. Мореходные таблицы (МТ – 2000) : под редакцией К. А. Емца.— СПб : ГУНиО МО, 2000. — 570 с.

109. Мысливец, С.Г. Математический анализ: учеб. пособие / С.Г.Мысливец. — Красноярск : Краснояр. гос. ун-т, 2004.— 276 с.
110. Melin, P., Castillo, O., Ramírez, E. G., Kacprzyk, J., Pedrycz, W. (Eds.) (2007). Analysis and Design of Intelligent Systems using Soft Computing Techniques. Advances in Soft Computing. Springer. doi: 10.1007/978-3-540-72432-2.
111. Michael, B. (2013). Integrated Data as backbone of e-Navigation. TransNav. International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 7(3), 371-374.
112. Mitropoulos, E. (2007) E-navigation: a global resource. Seaways, 12, 85-91.
113. Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс] : Идентификация механизмов реализации операторов генетического алгоритма в экспертных системах производственного типа / уклад. В. А. Частикова. — Краснодар : КубГАУ, 2012. — №75(01). — 13 с. Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/01/pdf/17.pdf>.
114. Носков, А. А. Использование ECDIS для планирования и контроля перехода судна: учеб. пособие / А. А. Носков. — Новороссийск: НГМА, 2002. — 106 с.
115. Ногин, В. Д. Введение в математический анализ : учеб. пособие / В. Д. Ногин. — СПб : гос. политехн. ун-т., 1994 — 62 с.
116. Ning, W., Dan, W., & Tieshan, L. (2012). Novel Vessel Maneuvering Model via GEBF Based Fuzzy Neural Networks. Proceedings of the 31st Chinese Control Conference, Hefei, China, 708 – 726.
117. Nguyen, H. (2010). Improving GPS. INS Integration through Neural Networks. Journal of Telecommunications, 2 (2), 1-6.
118. Ободовський, О.Г. Гідролого-екологічна оцінка руслових процесів (на прикладі річок України) : монографія / О.Г. Ободовський.— К.: Ніка-центр, 2001. — 274 с.
119. Основные технические и эксплуатационные параметры радиолокационных станций, используемых в судоходстве на Дунае : Док. ДК/СЕС 60/47. — [Введен. в действ. 23.04.2002]. — Будапешт : Дунайская комиссия, 2002. — 49 с. — (Стандарт ЕЭК ООН).

120. Панін, В.В. Структурне моделювання та символні перетворення для управління рухом транспортних засобів : кол. моногр. / Баранов Г.Л., Носовський А.М., Панін В.В., Тихонов І.В., Васько С.М. — К. : МОН України, 2014. — 300 с.
121. Panin, V., Doronin, V., Tykhonov, I., Alieinikov, M. (2018). Application of Intelligent Processing of Data Flows Under Conditions of River Navigation. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, 3/9 (93), 6 – 18, published 04.06.2018. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.131599.
122. Патент UA 142156, МПК H04B 10/40 (2013.01) Спосіб використання деталізованого масиву глибин у n-мірному просторі при русі судна / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін, О. М. Сп'ян ; заявник Державний університет інфраструктури та технологій МОН України. Заява № u 2019 3335 від 03.04.2019; опубл. 25.05.2020, Бюл. № 10, 2020 р.
123. Патент UA, Клас, серія G01C 21/28. Спосіб системного аналізу впровадження е-навігації на внутрішніх водних шляхах України / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін, О.М. Сп'ян; заявник Державний університет інфраструктури та технологій МОН України. Заява № u 2019 03967 від 16.04.2019; опубл. 2020, Бюл. 2020 р.
124. Патент UA 139453 U, МПК G01C 21/28 (2006.01) Спосіб інтелектуальної обробки потоків навігаційних даних в умовах річкової е-навігації / Алейніков В. М., Алейніков М. В., Доронін В. В., Сп'ян О. М.; заявник Державний університет інфраструктури та технологій — № u201905627; заявл. 24.05.2019; опубл. 10.01.2020, Бюл. № 1, 2020 р.
125. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы : пер. с польск. И. Д. Рудинского.— М. : Телеком, 2006. — 452 с.
126. Patraiko, D. (2007) Introducing the e-Navigation revolution. *Seaways*, 12, 121-126.
127. Porathe1, T., Sik, J. (2014). Ship traffic management route exchange: acceptance in Korea and Sweden, a cross cultural study. Published in the Proceedings of the International Symposium Information on Ships, ISIS 2014. Hamburg 4-5 September, 64-79. ISSN 2191-8392. [Electronic resource].

Access mode: <http://s3-eu-west-1.amazonaws.com/stm-stmvalidation/uploads/20171122153409/Porathe-et-al-paper-ISIS-2014-FINAL.pdf> (application date 27.07.2020).

128. Raymond, M., Schell, G. (2013). Management Information Systems [Text]. Prentice Hall, Upper Sadle River. New Jersey, 56 – 66.

129. Сазонов, А. Е. Прогнозирование траектории движения судна при помощи нейронной сети /А. Е. Сазонов, В. В. Дерябин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2013. — № 3 (22). — С. 6-13. DOI: 10.21821/2309-5180-2013-5-3-6-13.

130. Системы отображения электронных навигационных карт и информации для внутреннего судоходства (СОЭНКИ ВС). Inland ECDIS : Стандарт Inland ECDIS, версия 2.1. — [Введен. в действ. 16 мая 2008]. — Будапешт : Дунайская комиссия, 2008. — 161 с. — (Стандарт ЕЭК ООН).

131. Смирнов, Е. Л. Морская навигационная техника: справочник / Е. Л. Смирнов. — СПб.: «Элмор», 2002. — 224 с.

132. Степанов, О. А. Нейросетевые алгоритмы в задаче нелинейного оценивания. Взаимосвязь с байесовским подходом / О. А. Степанов // Навигация и управление движением : материалы XI конференции молодых учёных, 21-22 апреля 2009 г. Санкт-Петербург / Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — Санкт-Петербург. — 2009. — С. 39–65.

133. Субботин, А. С. Интеллектуальные информационные технологии проектирования автоматизированных систем диагностирования и распознавания образов : монография / А. С. Субботин и др.— Харьков : Запорож. НТУ, 2012. — 318 с.

134. Усков, Д. Е. Количественная оценка вероятности навигационной безопасности плавания судна по фарватеру : монография / Д. Е. Усков. — Новороссийск: МГУ имени адмирала Ушакова, 2013. — 17 с.

135. Хайкин, С. Нейронные сети. Полный курс : учебн. пособие / С. Хайкин. — 2-е изд. пер. с англ. — М. : Издательский дом "Вильямс", 2006. — 1104 с.

136. Hopple, G. (2008). The state of the decision support systems. QED Information Sciences, 246 – 259.
137. Xu, T. (2012). Novel Approach for Ship Trajectory Online Prediction Using BP Neural Network Algorithm. Advances in information Sciences and Service Sciences (AISS), 4(11), 271–277. DOI: 10.4156/AISS.vol4.issue11.33.
138. Чернышов, В. Н. Теория систем и системный анализ : учебн. пособие / В. Н. Чернышов.— Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 96 с.
139. Числов, К. А. Нейроподобный алгоритм коррекции безгироскопной инерциальной спутниковой гравиметрической системы / К. А. Числов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2013. — № 4 (38). — С. 93-99.
140. Яхьяева, Г. Э. Нечеткие множества и нейронные сети : монография / Г. Э. Яхьяева. — Москва : Интуит, 2012. — С. 316.
141. Ясницкий, Л. Н. Интеллектуальные системы : монография / Л. Н. Ясницкий. — М. : Лаборатория знаний, 2016. — 221 с.
142. Alieinikov, M., Aleynikov V., Doronin, V., Spiian, O. (2019). Automated determination of the limit values of navigation parameters during vessel motion in the conditions of river e-navigation. International Journal of Science and Engineering Investigations (IJSEI). Lygten 4C, 2400, Kobenhavn, Denmark, Vol. 8 (88), 54 – 61.
143. Програмування, комп'ютери і кібернетика. Дипломна робота. 2013 рік. [Електронний ресурс]. Режим доступа: https://knowledge.allbest.ru/programming/3c0a65625b3ac78a4d53a89521216c36_0.html (дата звернення 26.07.2020).
144. Автоматизоване тестування. Матеріал з Вікіпедії. [Електронний ресурс]. Режим доступа: https://uk.wikipedia.org/wiki/Автоматизоване_тестування. (дата звернення 26.07.2020).

ДОДАТКИ

Список публікацій здобувача, відомості про апробацію
і матеріали, які додатково відображають наукові результати дисертації

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Алейніков, В. М. Використання обчислювального інтелекту при виявленні дефектів функціонування базової версії програмного продукту ECDIS / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Водний транспорт. Збірник наукових праць. — 2016. — № 2 (25). — С. 54 – 63.
2. Алейніков, В. М. Застосування критеріїв оцінки функціональної стійкості інструментального методу навігації на ВВШ України / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Новітні технології. Збірник наукових праць. — 2019. — № 1 (8). — С. 21-29.
3. Aleynikov, V., Panin, V., Doronin, V. (2018). Application of the System Analysis of Implementation of the Instrumental Method of Navigation on Inland Waterways of Ukraine. Radio Electronics, Computer Science, Control. The scientific journal of Zaporizhzhia National Technical University, 2 (45), 125-134 (**Web of Science**).
4. Алейніков, В. М. Методи реалізації обчислювального інтелекту при використанні деталізованого масиву глибин в річкових електронно-картографічних системах / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Вісник Одеського нац. морського університету. – 2018. — № 1 (54). — С. 158-181.
5. Алейніков, В. М. Контекстно-орієнтований підхід в інтелектуальній обробці потоків даних від водомірних постів при русі судна / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. Науковий журнал. — 2017. — № 2 (17). — С. 27-35.
6. Алейніков, В. М. Структурні перетворення об'єктів зовнішнього середовища в умовах річкової е-навігації / В. М. Алейніков, В. В. Доронін, О. М. Сп'ян //

Вісник Одеського національного морського університету. — 2018. — № 3 (56). — С. 175-196.

7. Aleinikov, M., Aleynikov V., Doronin, V., Spiian, O. (2019). Automated determination of the limit values of navigation parameters during vessel motion in the conditions of river *e*-navigation. International Journal of Science and Engineering Investigations (IJSEI). Lygten 4C, 2400, Kobenhavn, **Denmark**, Vol. 8 (88), 54 – 61.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

8. Алейніков, В. М. Актуальні проблеми експлуатації Inland ECDIS на ВВШ України / В. М. Алейніков // 18-та науково-методична конференція викладачів, аспірантів та студентів : матеріали наук.-метод. конф., 24-28 березня 2014 р., м. Київ / МОН України, Київська держ. акад. водн. тр-ту. — Київ : 2014.— С. 81-82.

9. Алейніков, В. М. Актуальні питання перспективного розвитку електронно-картографічних систем на акваторії річки Дніпро / В. М. Алейніков // 20-та науково-методична конференція викладачів, аспірантів та студентів : матеріали наук.-метод. конф., 29-31 березня 2016 р., м. Київ / МОН України, Київська держ. акад. водн. тр-ту. — Київ : КДАВТ, 2016.— С. 122-123.

10. Алейніков, В. М. Застосування критеріїв оцінки функціональної стійкості інструментального методу навігації на ВВШ України / В. М. Алейніков // 21-ша науково-методична конференція викладачів, аспірантів та студентів : матеріали наук.-метод. конф., 27-29 березня 2017 р., м. Київ / МОН України, Київська держ. акад. водн. тр-ту. — Київ : КДАВТ, 2017.— С. 117-120.

11. Алейніков, В. М. Метод отримання диференціальних поправок до вимірних глибин, які позначені на системній електронній карті / Алейніков В. М. // Науково-методична конференція : матеріали наук.-метод. конф., 26-29 березня 2018 р., м. Київ / МОН України, Держ. ун-т інфрастр. і технол, 2018.— С. 41-44.

12. Алейніков, В. М. Геометричне моделювання нелінійних задач навігації з врахуванням впливу деталізованого масиву глибин в електронно-картографічних системах / В. М. Алейніков // Перша всеукраїнська науково-технічна конференція «Проблеми інфокомунікацій» : матеріали наук.-техн. конф., 14-15 листопада 2017

р., м. Полтава / М-во освіти і науки України, Полтав. нац. техн. ун-т.— Полтава: ВКСС ВІТІ, 2017. — С. 52 – 53.

13. Методи прийняття рішень в умовах невизначеності на акваторіях судноводіння / В. М. Алейніков, Г. Л. Баранов, В. В. Доронін // Міжнародна наукова конференція «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту (ISDMCI '2016), 24-28 травня 2016 р., м. Херсон.— Херсон: Видавн. ПП Вишемирський В. С., 2016. — С. 31 – 32.

14. Aleynikov, V. M. (2017). Application of Evaluation Criteria of Functional Sustainability Instrumental Method of Navigation on Ukraine's Inland Waterways / V. V. Doronin, M. V. Aleynikov, V. M. Aleynikov // International Conference (ISDMCI'2017). Intellectual Systems for Decision Making and Problems of Computational Intelligence: Conference Proceedings.– Kherson: PP Vyshemirsky V. S., 2017. 178 – 179 pp.

15. Багатокритеріальна модель обробки навігаційних даних в річкових електронно-картографічних системах / В.М. Алейніков, М.В. Алейніков, В. В. Доронін // Міжнародна наукова конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту», 21-27 травня 2018 р., м. Херсон. — Херсон: Видавн. ПП Вишемирський В. С., 2018. – С. 152 – 154.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

16. Патент UA 142156, МПК H04B 10/40 (2013.01) Спосіб використання деталізованого масиву глибин у n-мірному просторі при русі судна / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін, О. М. Спіян ; заявник Державний університет інфраструктури та технологій МОН України. Заява № u 2019 3335 від 03.04.2019; опубл. 25.05.2020, Бюл. № 10, 2020 р.

17. Патент UA, Клас, серія G01C 21/28. Спосіб системного аналізу впровадження e-навігації на внутрішніх водних шляхах України / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін, О.М. Спіян ; заявник Державний університет інфраструктури та технологій МОН України. — Заява № u 2019 03967 від 16.04.2019; опубл. 2020, Бюл. 2020 р.

18. Патент UA 139453 U, МПК G01C 21/28 (2006.01) Спосіб інтелектуальної обробки потоків навігаційних даних в умовах річкової е-навігації / Алейніков В. М., Алейніков М. В., Доронін В. В., Спіян О. М.; заявник Державний університет інфраструктури та технологій — № u201905627; заявл. 24.05.2019; опубл. 10.01.2020, Бюл. № 1, 2020 р.
19. Алейніков, В. М. Використання обчислювального інтелекту при виявленні дефектів функціонування базової версії програмного продукту ECDIS / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Право автора на твір № 3920 від 05.06.2018; авторський договір № 35-18С-НС від 13.04.2018.
20. Алейніков, В. М. Контекстно-орієнтований підхід в інтелектуальній обробці потоків даних від водомірних постів при русі судна / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Право автора на твір № 3917 від 05.06.2018; авторський договір № 36-18С-НС від 13.04.2018.
21. Алейніков, В. М. Застосування критеріїв оцінки функціональної стійкості інструментального методу навігації на ВВШ України / В. М. Алейніков, М. В. Алейніков, В. В. Доронін // Право автора на твір № 3921 від 05.06.2018; авторський договір № 37-18С-НС від 13.04.2018.
22. Алейніков, В. М. Збірник завдань з лабораторних робіт. Освітньо-професійна програма підготовки магістра / В. М. Алейніков, В. В. Доронін, О. М. Спіян // Право автора на твір № 3918 від 05.06.2018; авт. дог. № 38-18С-НС від 16.04.2018.
23. Алейніков, В. М. Збірник завдань з лабораторних робіт. Освітньо-професійна програма підготовки бакалавра / Алейніков В.М., Доронін В. В., Спіян О. М. // Право автора на твір № 3919 від 05.06.2018; авт. дог. № 39-18С-НС від 16.04.2018.



АКТ

впровадження результатів дисертаційних досліджень Алейнікова В.М.

Комісія у складі: голови – завідувача кафедри Технічних систем і процесів управління в судноводінні к.т.н., доцента Маранова О. В., членів комісії заступника завідувача кафедри доцента Корнунова М. Я., к.т.н., доцента, професора кафедри судноводіння та керування судном Давидова В. С. встановила, що розроблені у дисертаційному дослідженні Алейнікова В.М методи використання деталізованого масиву глибини в річкових електронно-картографічних системах впроваджені у Державному університеті інфраструктури та технологій при викладанні фахових дисциплін з підготовки бакалаврів і магістрів з судноводіння.

Розроблені методи дозволяють більш якісно і ефективно навчати студентів факультету судноводіння з дисципліни «Навігаційно-інформаційні системи».

Представляє значний практичний інтерес розроблені методичні матеріали (затверджено на засіданні кафедри «ІС і ІУС», протокол № 10 від 21.06.2017 р.)

1. Збірник завдань з лабораторних робіт. Освітньо-професійна програма підготовки бакалавра. Авторський договір № 39-18НС-НС від 16.04.2018.

2. Збірник завдань з лабораторних робіт. Освітньо-професійна програма підготовки магістра. Авторський договір № 38-18НС-НС від 16.04.2018.

Акт не є підставою для фінансових розрахунків.

Голова комісії: к.т.н., доцент  Маранов О. В.

Члени комісії: к.т.н., доцент  Давидов В. С.

доцент  Корнунов М. Я.

Продовження додатка Б

Затверджую
 Директор КЦПП
 Омельян Ю. В.
 27.05.2018 р.






АКТ

впровадження результатів дисертаційних досліджень Алейнікова В. М.

Комісія у складі: голови – заступника директора КЦПП з навчальної роботи Стецького В. О., к.т.н., доцента, професора кафедри ДУІТ Давидова В. С. (за згодою), к.е.н., доцента ДУІТ Завітаєва В. Л. (за згодою) встановила, що розроблені у дисертаційному дослідженні Алейнікова В.М методи використання деталізованого масиву глибин в річкових електронно-картографічних системах впроваджені у Київському центрі підготовки, перепідготовки і підвищенні кваліфікації спеціалістів водного транспорту (КЦПП) при проведенні тренажерної підготовки і оцінки компетенції судноводіїв за напрямками: «Використання електронних картографічних та навігаційно-інформаційних систем (ЕКНІС)» і «Використання електронних картографічних та навігаційно-інформаційних систем (ЕКНІС)» і «Використання електронних картографічних та навігаційно-інформаційних систем на ВВШ»

Розроблені методи дозволяють більш якісно і ефективно проводити тренажерну підготовку і оцінку компетенції судноводіїв.

Акт не є підставою для фінансових розрахунків.

Голова комісії:	заступник директора КЦПП з навчальної роботи		Стецький В. О.
Члени комісії:	к.т.н., доцент (за згодою)		Давидов В. С.
	к.е.н., доцент (за згодою)		Завітаєв В. Л.

Затверджую
 В.о. начальника ДП «Укрводшлях»
 Шершньов Д. О.
 03 2019 р.



АКТ

впровадження результатів дисертаційних досліджень Алейнікова В. М.

Розроблені у дисертаційному дослідженні Алейнікова В. М. методи використання деталізованого масиву глибин в річкових електронно-картографічних системах впроваджені у Центрі підготовки фахівців морського та річкового транспорту "Укрводшлях – Training"

Розроблені методи дозволяють більш якісно і ефективно проводити тренажерну підготовку за напрямом «Використання електронних картографічних та навігаційно-інформаційних систем на ВВШ».

Такі елементи дисертації як вдосконалення і розробка ефективних способів експлуатації водного транспорту за допомогою додаткових методів реалізації обчислювального інтелекту при використанні деталізованого масиву глибин в Inland ECDIS, а також вибору безпечного шляху з дотриманням вимог з безпеки руху судна представляють значний практичний інтерес.

Акт не є підставою для фінансових розрахунків.

Заступник начальника ДП «Укрводшлях», к.т.н.

Методист Центру підготовки

Дорошні В. В.
 Польчук В. П.



Продовження додатка Б

УТВЕРЖДАЮ

Директор ООО

«Южное речное пароходство»



Егупов В. В.

«12» 09 2018 р.

АКТ № 1 от 12.09.2018




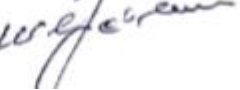
внедрения результатов диссертационных исследований Алейникова В. М.

Комиссия в составе: председателя комиссии Гудко В. П., членов комиссии Бобошко И. В., Макаровой Т. М., Шестенко В. И. установила, что разработанные в диссертационном исследовании Алейникова В. М. методы «Підвищення ефективності експлуатації водного транспорту шляхом використання деталізованого масиву глибин в річкових електронно-картографічних системах» внедрены в судоходной компании «Южное речное пароходство» путем использования дополнительных программно-аппаратных решений для обеспечения безаварийного плавания судов компании.

Предложенные: методология системной оптимизации структуры и стратегии использования детализированного массива глубин, математическое обоснование автоматизированного поступления дифференциальных поправок до измеренных глубин, обозначенных на SENC, сформулированные предложения об обязательных условиях использования Inland ECDIS как эквивалента бумажных навигационных речных карт, а также выбор безопасного пути заслуживают внимание и представляют практический интерес для компании.

Акт не является основанием для финансовых расчетов.

Председатель комиссии,
капитан дальнего плавания

 Гудко В. П.
 Макарова Т. М.
 Бобошко И. В.
 Шестенко В. И.

Продовження додатка Б

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник

Річкової інформаційної служби

філії «Дельта-лоцман» ДП АМПУ



Ляшенко О. С.

2019 р.

АКТ № 1 от 07.03.2019

впровадження результатів дисертаційних досліджень Алейнікова В. М.

Розроблені в дисертаційному дослідженні Алейнікова В. М. методи «Підвищення ефективності експлуатації водного транспорту шляхом використання деталізованого масиву глибин в річкових електронно-картографічних системах» впроваджені в Річкової інформаційної служби філії «Дельта-лоцман» ДП АМПУ шляхом використання додаткових програмно-апаратних рішень для забезпечення безаварійного плавання річкових суден і включені в перспективний план з модернізації Річкової інформаційної служби.

Запропонований новий метод автоматизованого своєчасного відображення фактичних глибин на єдиній електронній карті на підставі отримання диференційованих поправок від водомірних постів, який відрізняється визначенням небезпечної області навігації в n -мірному просторі при русі судна безумовно становить практичний інтерес у річковій е-навігації.

Акт не є підставою для фінансових розрахунків.

Провідний інженер

Річкової інформаційної служби

Шамарін В. О.

Продовження додатку Б

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник ДУ «Держгідрографія»,
к.ю.н.

Щипцов О. О.

2019 р.



АКТ № _____ от _____

впровадження результатів дисертаційних досліджень Алейнікова В. М.

Розроблені в дисертаційному дослідженні Алейнікова В. М. методи «Підвищення ефективності експлуатації водного транспорту шляхом використання деталізованого масиву глибин в річкових електронно-картографічних системах» впроваджені в ДУ «Держгідрографія» шляхом використання додаткових програмно-апаратних рішень для забезпечення безаварійного плавання суден установи і включені в перспективний план з модернізації об'єктів навігаційно-гідрографічного забезпечення судноплавства при річкової е-навігації.

Запропонований новий метод автоматизованого своєчасного відображення фактичних глибин на єдиній електронній карті на підставі отримання диференційованих поправок від водомірних постів, який відрізняється визначенням небезпечної області навігації в n -мірному просторі при русі судна безумовно становить практичний інтерес у річковій е-навігації.

Акт не є підставою для фінансових розрахунків.

Начальник відділу НЗМ і МС
ДУ «Держгідрографія», к.т.н.



Голодов М. Ф.

Продовження додатка Б

Борт судна «VECTIS ISLE»
(flag Comoros)

АКТ № 1 от 15.11.2018

внедрения результатов диссертационных исследований Алейникова В. М.

Настоящий акт составлен в том, что при прибытии на судно старшим помощником капитана Алейниковым В. М. внедрены методы, разработанные в диссертационном исследовании «Підвищення ефективності експлуатації водного транспорту шляхом використання деталізованого масиву глибин в річкових електронно-картографічних системах».

Внедренные методы были опробованы Алейниковым В. М. На электронно-картографической системе судна при прохождении пролива «Босфор» (Турция), Херсонского морского канала и устья реки Рвач (Украина).

Капитан судна «VECTIS ISLE»,
капитан дальнего плавания

« 15 » 2018 р.



A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping strokes.

М. В. Алейников



Закінчення додатка Б

Борт судна «WILSON GAETA»
(flag Barbados)

АКТ № ____ от _____

внедрения результатов диссертационных исследований Алейникова В. М.

Настоящий акт составлен в том, что при прибытии на судно старшим помощником капитана Алейниковым В. М. внедрены методы, разработанные в диссертационном исследовании «Повышение эффективности эксплуатации водного транспорта путем использования детализированного массива глубин в речных электронно-картографических системах».

Внедренные методы были опробованы Алейниковым В. М. на электронно-картографической системе судна при плавании в узкостях побережья Испании.

Капитан судна «WILSON GAETA»,
капитан дальнего плавания

« 10 » 07 2019 г.
M. п.



MV WILSON GAETA
IMO NO. 9171096
[Signature]
MASTER



Перелік основних міжнародних документів, що регламентують установку та експлуатацію НІС на морських і річкових судах

№ з/п	Найменування	Пояснення
1	2	3
НІС на морських судах.		
1	Конвенція SOLAS 74 Глава V (правило 19)	Закріплює юридичне право використання ЕК замість паперових карт.
2	Резолюція ІМО А.817(19)	Експлуатаційні вимоги до систем відображення електронних карт та інформації (ECDIS).
3	Резолюція MSC 64(67)	Прийняття нових експлуатаційних вимог і поправок до існуючих експлуатаційних вимог. Вимоги до резервного комплекту ECDIS.
4	Резолюція MSC 86(70)	Поправки до Резолюції ІМО А.817(19) в частині, що стосується внесення вимог до відображення растрових карт в ECDIS.
5	Резолюція MSC 232(82)	Прийняття переглянутих експлуатаційних вимог до ECDIS (прийнята 5 грудня 2006 р.). Вимоги до ECDIS з поправками, внесеними резолюціями MSC.64(67) та MSC.86(70).
6	Резолюція 191(79)	Експлуатаційні вимоги до представлення інформації, що стосується судноводіння, на судових пристроях відображення.
7	Резолюція MSC 221(82) Резолюція MSC 222(82)	Прийняті поправки до Кодексу високошвидкісних суден в частині, що стосується вимог до обов'язкового оснащення високошвидкісних суден обладнанням ECDIS.
8	Стандарт ІЕС 61174	Викладені вимоги щодо перевірки обладнання ECDIS.
9	Стандарт ІЕС 61162	Викладені вимоги щодо взаємодії морської навігаційної апаратури.
10	Стандарт ІЕС 19379	Викладені вимоги (стандарти) до ЕК, які використовуються в ECS системах, та стандарти RTCM до обладнання ECS.
11	Стандарт ІЕС 61924	Викладені вимоги (стандарти) до інтегрованих навігаційних систем.
12	Публікація МГО S 52	Викладені вимоги до утримання, до умовних позначень, до застосовуваних кольорів, до відображення ЕК, до засобів і процесу їх коректури. Цей документ включає 4 додатки: - Керівництво з коректури ЕНК; - Специфікація кольорів і символів для ECDIS; - Глосарій термінів, що стосуються ECDIS; - ІНО тести для даних ECDIS.

1	2	3
13	Публікація МГО S 57/3.1	Стандарт для обміну цифровими картографічними даними.
14	Публікація МГО S 63	Стандарт для захисту інформації ЕК.
15	Публікація МГО S 61	Викладені вимоги до растрових карт.
16	Стандарт ECS Database Standard ISO 19379	Викладені вимоги до технології і якості електронних карт, використовуваних в ECS.
17	Публікація МГО S 62	Коди виробників ЕК.
18	Стандарт ІЕС 62376	Стандарт розглядає 3 типи ECS (класи «А», «В» та «С») і визначає вимоги до них. Виконання системою вимог зазначених стандартів підтверджується «Свідоцтвом про типове схвалення» (сертифікатом), яке видається відповідним Регістром.
19	Резолюція MSC 282(86)	Викладені вимоги щодо оснащення усіх категорій суден обладнанням ECDIS починаючи з 01.07.2012 р.
НІС на річкових суднах.		
1	Резолюція № 48 ЄЕК ООН	Стандарт для систем відображення електронних навігаційних карт та інформації для внутрішнього судноплавства.
2	Резолюція № 57 ЄЕК ООН	Керівні принципи та рекомендації для річкових інформаційних служб (РІС).
3	Рекомендації Дунайської комісії	Рекомендації, що стосуються системи відображення електронних карт та інформації для внутрішнього судноплавства. Дунайська комісія.
4	Резолюція № 73 ЄЕК ООН	Додавання і поправки до Резолюції № 57, що стосуються Керівних принципів та рекомендацій для річкових інформаційних служб.

Порівняльний аналіз відмінностей стандартів морських і річкових ECDIS

№ з/п	Стандарт Inland ECDIS	Стандарт ECDIS
1	Основні функції і робочі характеристики	
1.1	Inland ECDIS должна содействовать улучшению безопасности и эффективности внутреннего судоходства охране окружающей среды	+
1.2	Inland ECDIS должна облегчать работу судоводителя по сравнению с традиционными методами судоходства и получения информации	+
1.3	Inland ECDIS (системное программное обеспечение, прикладное программное обеспечение и техническое оборудование) должна иметь высокий уровень надежности и доступности	+
1.4	Inland ECDIS может быть предназначена только для информационного режима либо как для информационного, так и для навигационного режима	-
1.5	Inland ECDIS должна использовать всю необходимую картографическую информацию	+
1.6	Inland ECDIS должна обеспечивать простое и надежное обновление электронной навигационной карты для внутреннего судоходства (ЭНК ВС)	+
1.7	Inland ECDIS должна обеспечивать соответствующую аварийно-предупредительную сигнализацию или индикацию в отношении отображаемой информации или неисправности оборудования	+
1.8	Inland ECDIS должна соответствовать эксплуатационным требованиям стандарта для систем отображения электронных навигационных карт и информации для внутреннего судоходства	-
2.	Термины	
2.1	Inland ECDIS означает систему отображения электронных навигационных карт и информации для внутреннего судоходства, отображающую информацию, выбранную из системной электронной навигационной карты для внутреннего судоходства (СЭНК ВС), и - факультативно - информацию, получаемую от других навигационных датчиков	-
2.2	Электронная навигационная карта для внутреннего судоходства означает базу данных, стандартизированную по содержанию, структуре и формату и выпускаемую для использования с Inland ECDIS. ЭНК ВС соответствует стандартам МГО S-57 и S-52 с дополнениями и уточнениями этого стандарта применительно к Inland ECDIS	-
2.3	Системная электронная навигационная карта для внутреннего судоходства (СЭНК ВС) означает базу данных, полученную в результате преобразования ЭНК ВС средствами Inland ECDIS	+
2.4	Минимальная плотность информации (базовое отображение) означает минимальный объем отображаемой информации СЭНК,	+

	который не может быть сокращен оператором и который включает данные, требующиеся в любое время, во всех географических районах и при любых обстоятельствах	
2.5	Стандартная плотность информации (стандартное отображение) означает стандартный объем информации СЭНК, которая должна быть видимой, когда карта отображается в Inland ECDIS впервые	+
2.6	Совокупная плотность информации (совокупное отображение) означает максимальный объем информации СЭНК. В данном случае, помимо стандартного отображения, в индивидуальном порядке по требованию отображаются также все остальные характеристики	+
2.7	Интегрированное отображение означает изображение СЭНК в относительном движении и ориентации по курсу с наложенным на него радиолокационным изображением. При этом масштаб, смещение центра и ориентация этих изображений должны совпадать	-
2.8	Навигационный режим означает использование Inland ECDIS в целях управления судном с наложением радиолокационного изображения	-
2.9	Информационный режим означает использование Inland ECDIS только в информационных целях без наложения радиолокационного изображения	-
3.	Содержание и обеспечение ЭНК ВС	
3.1	Картографическая информация, предназначенная для использования в Inland ECDIS, должна представлять собой информацию, содержащуюся в последнем из выпущенных изданий	+
3.2	Должны быть приняты меры для исключения возможности изменения пользователем содержания оригинала издания ЭНК ВС	+
3.3	Если карта предназначена для использования в навигационном режиме, то в ЭНК должны быть включены по крайней мере следующие характеристики: <ul style="list-style-type: none"> ● берег водного пути (при бреднем уровне воды); ● сооружения на береговой линии, которые считаются опасным для судоходства); ● контуры шлюзов и дамб; ● границы судового хода; ● отдельные подводные опасности на судовом ходе; ● отдельные надводные опасности на судовом ходе (мосты, линии электропередач и т.д); ● средства навигационного оборудования; ● осевая линия водного пути с указанием километровых милевых отметок 	+
3.4	Если карта используется в навигационном режиме, то должны быть указаны характеристики, которые должны проверяться	-
4.	Обновление	
4.1	Inland ECDIS должна предусматривать возможность внесения корректуры в данные ЭНК ВС. Это обновление должно использоваться в СЭНК автоматически	-

4.2	Inland ECDIS должна позволять отображать обновления для ознакомления с их содержанием	+
4.3	Inland ECDIS должна быть способна аннулировать автоматически используемые обновления данных ЭНК ВС	-
4.4	Первоначальные издания ЭНК ВС и последующие обновления никогда не должны смешиваться	+
4.5	ЭНК ВС и вся корректура к ней должны отображаться без какого-либо ухудшения их информационного содержания	+
4.6	Данные ЭНК ВС и корректура к ней должны четко отличаться от другой информации	+
4.7	Inland ECDIS должна обеспечивать правильный ввод ЭНК ВС и всей корректуры к ней в СЭНК	+
4.8	Inland ECDIS должна регистрировать обновления, включая время их ввода в СЭНК	+
4.9	Содержание используемой СЭНК должно быть адекватным и откорректированным на момент намеченного рейса	+
5.	Отображение информации	
5.1	Метод отображения должен обеспечивать четкую видимость отображаемой информации для более чем одного наблюдателя в характерных условиях освещения рулевой рубки судна как днем, так и ночью	+
5.2	Размеры отображаемой карты должны быть не менее 270 мм x 270 мм для навигационного режима. В информационном режиме ее размеры определяются соображениями эргономики	+
5.3	Требования в отношении отображения должны выполняться как в альбомном (горизонтальном), так и в книжном (вертикальном) формате	+
6.	Шкалы дальности (масштаб)	
6.1	В информационном режиме используются те же шкалы дальности, что и для навигационного режима	-
6.2	В навигационном режиме допускается лишь последовательное переключение шкал дальности (масштабов)	-
7.	Расположение и ориентация изображения	
7.1	В информационном режиме допускаются все виды ориентации карты	-
7.2	В навигационном режиме карта должна автоматически располагаться и ориентироваться в относительном движении с ориентацией по курсу; при этом положение своего судна может располагаться в центре экрана или может быть смещено	-
8.	Отображение информации СЭНК	
8.1	Существуют следующие три категории отображения информации СЭНК: <ul style="list-style-type: none"> ● базовое отображение, ● стандартное отображение, 	+

	● совокупное отображение	
8.2	Inland ECDIS должна в любое время четко указывать текущую плотность информации відображення	+
8.3	Змінювана в часі інформація про глибину на ЕНК повинна відображатися незалежно від зазначених вище трьох категорій	+
9.	Отображение радиолокационной информации	
9.1	В навигационном режиме радиолокационное изображение должно отображаться на дисплее в первоочередном порядке, причем только в режиме относительного движения с ориентацией по курсу. Если система сертифицирована также для использования в качестве ECDIS для морского судоходства, могут применяться режим истинного движения и ориентация по северу. Если такая система используется в режиме истинного движения и/или с ориентацией по северу на европейских внутренних водных путях, то считается, что она работает в информационном режиме	-
9.2	СЭНК, на которую налагается радиолокационное изображение, должна совпадать с этим изображением (шкалы дальности и ориентации). Радиолокационное изображение и местоположение, полученное от датчика местоположения, должны предоставлять возможность их смещения для компенсации расстояния между антенной и местом, с которого управляется судно	-
9.3	Налагаемое радиолокационное изображение должно соответствовать минимальным требованиям, указанным в настоящем стандарте	-
9.4	Налагаемое радиолокационное изображение может содержать дополнительную навигационную информацию. Дополнительная навигационная информация не должна ухудшать радиолокационное изображение	-
10.	Отображение другой навигационной информации	
10.1	Inland ECDIS и дополнительная навигационная информация должны использовать общую систему координат	+
10.2	Должно обеспечиваться отображение на экране местоположение своего судна	+
10.3	Должно обеспечиваться возможность установления судоводителем безопасных расстояний	+
10.4	Inland ECDIS должна указывать на несоблюдение безопасных расстояния	+
11.	Цвета и символы	
11.1	Цвета и символы, используемые для отображения информации СЭНК, должны обеспечивать соответствие настоящему стандарту	+
12.	Точность данных и отображения	
12.1	Точность данных, что рассчитываются и отображаются, не должны зависеть от характеристик дисплея и должны соответствовать точности СЭНК	+

12.2	Inland ECDIS должна обеспечивать индикацию, является ли выставленная на дисплее шкала дальности меньше той, которая соответствует точности данных ЭНК ВС (индикация о превышении масштаба отображения)	+
12.3	Точність всіх розрахунків, виконуваних Inland ECDIS, не повинна залежати від характеристик вихідного пристрою і повинна відповідати точності СЕНК	+
12.4	Точность пеленгов и дистанций, отображаемых на дисплее должна быть не ниже разрешающей способности дисплея	+
13.	Функционирование	
13.1	Информационный режим предназначен для использования только в информационных, а не в навигационных целях	-
13.2	В информационном режиме допускаются все виды ориентации карты, ее вращение, масштабирование и фрагментирование	-
13.3	Следует предусмотреть возможность ручного прокручивания карты на экране, чтобы осевая линия фарватера совпадала с вертикальной осью экрана	+
13.4	Inland ECDIS может подсоединяться к датчику определения местоположения для автоматического передвижения картографического изображения и для отображения той части карты, которая соответствует фактическому положению, а именно на выбранной оператором шкале дальности	+
13.5	Рекомендуется отображать информацию о местоположении и ориентации других судов, полученную по АИС или AI-IP в реальном времени. Отображение информации о местоположении и ориентации других судов с помощью <ul style="list-style-type: none"> ● ориентированного в пространстве треугольника или ● истинных очертаний (в масштабе) если неизвестен курс этих других судов	+
13.6	В навигационном режиме отображение Inland ECDIS интегрируется с информацией от радиолокатора своего судна. Радиолокационная информация должна четко отличаться от информации СЭНК	-
13.7	Интегрированное отображение должно соответствовать требованиям, предъявляемым к радиолокаторам на внутренних водных путях и в настоящем стандарте	-
13.8	Картографическое и радиолокационное изображения должны соответствовать друг другу по размерам, местоположению и ориентации	-
13.9	Интегрированное отображение должно представляться только с ориентацией по курсу. Другие виды ориентации разрешаются в системах с дополнительной сертификацией для использования в качестве ECDIS для морского судоходства. Если такая система применяется в режиме истинного движения и/или с ориентацией по северу на европейских внутренних водных путях, то считается, что она работает в информационном режиме	-

13.10	Должна быть обеспечена возможность корректировки оператором отображаемого местоположения судна, с тем чтобы радиолокационное изображение совпадало с отображением СЭНК	-
13.11	Должна быть предусмотрена возможность временного изъятия либо данных ECDIS, либо радиолокационной информации одним действием оператора	-
13.12	Местоположение судна должно устанавливаться с помощью системы постоянного определения местоположения с точностью, соответствующей требованиям безопасного судоходства	+
13.13	Навигационный режим должен предусматривать индикацию прекращения поступления информации от системы определения местоположения. Навигационный режим должен также повторять - но только в виде индикации - любой аварийно-предупредительный сигнал или индикацию, передаваемые системой определения местоположения	-
13.14	Система определения местоположения и СЭНК должны базироваться на одной и той же системе геодезических координат	+
13.15	Информацию о местоположении и ориентации других судов, полученную с помощью других каналов связи, помимо собственной радиолокационной установки, разрешается отображать только в том случае, если она обновляется (почти в реальном времени) и отвечает требованиям по точности, необходимым для создания тактических и эксплуатационных условий судоходства	-
13.16	Поскольку информация от АИС о других судах полезна для планирования расхождения, но бесполезна в процессе самого расхождения, символы систем обнаружения и отслеживания (АИС) не должны ухудшать радиолокационное изображение в ходе расхождения и поэтому должны затухать	-
13.17	Отображение местоположения и ориентации других судов с помощью * ориентированного в пространстве треугольника или * истинных очертаний (в масштабе) допускается только в том случае, если известен курс этих других судов. Во всех прочих случаях должен использоваться общий символ (рекомендуется квадрат, круг слід використовувати тільки в програмах, призначених для внутрішнього судноплавства)	-
14.	Элементы управления и контроля	
14.1	Конструкция Inland ECDIS должна отвечать эргономическим принципам и быть удобной для использования	+
14.2	Обладнання Inland ECDIS повинно мати мінімальне число елементів управління і контролю	+
14.3	Стандартная настройка и настройка, выбранная пользователем, должны восстанавливаться без каких-либо затруднений	-
15.	Сопряжение с другим оборудованием	
15.1	Inland ECDIS не должна оказывать отрицательного воздействия на функционирование любого подключенного оборудования	+

15.2	Inland ECDIS должна быть в состоянии генерировать информацию для других систем, например в целях осуществления электронного оповещения	+
16.	Встроенное проверочное оборудование	
	Inland ECDIS должна быть оснащена средствами проведения бортовых проверок основных функций в автоматическом или ручном режиме. При неисправности должен указываться неисправный блок	+
17.	Сбои в работе	
	Inland ECDIS должна обеспечивать приемлемую аварийно-предупредительную сигнализацию или индикацию сбоев в работе системы	+
18.	Недостаточная точность позиционирования СЭНК	
	В навигационном режиме СЭНК должна автоматически отключаться, если указываемое на СЭНК местоположение не соответствует радиолокационному изображению	-
19.	Повреждения	
19.1	Если произошло явное повреждение системы Inland ECDIS, то она должна подавать соответствующий аварийно-предупредительный сигнал	+
19.2	Для недопущения критических ситуаций, к которым может привести неисправность Inland ECDIS, должны быть предусмотрены устройства, обеспечивающие безопасную передачу функций Inland ECDIS другому оборудованию	-
20.	Источник питания в навигационном режиме	
20.1	Inland ECDIS должна быть оснащена собственным отдельным источником питания с предохранителями	+
20.2	Перебои в подаче питания продолжительностью до 5 мин. не должны оказывать никакого воздействия на правильность функционирования оборудования и не должны требовать его повторного ручного включения	-
21.	Стандарт данных	
	В стандарте содержится описание необходимых добавлений и уточнений к S-57 и способов применения S-57 для целей использования в прикладных программах Inland ECDIS	-
22.	Теоретическая модель данных	
	Описание теоретической модели данных, содержащееся в S-57, часть 2, 3 применяется к теоретической модели данных ЭНК ВС без каких-либо изменений или поправок	+
23.	Постоянно видимые функциональные параметры	
	Следующие функциональные параметры должны быть постоянно видимыми: • заданный УРОВЕНЬ ВОДИ	-

Результати дослідження ефективного несення навігаційної вахти за допомогою засобів електронно-картографічного судноводіння

а)

№	Дії вахтового помічника	Допомога ECDIS
1	2	3
1	Контроль за безпечним плаванням судна за маршрутом, заданим попередньою прокладкою, здійснюється шляхом неперервного ведення виконавчої прокладки .	+ 100 %
2	Виконавча прокладка . Зчислення шляху судна, визначення місця, періодична корекція обсерваціями зчислення шляху, нанесення на карту лінії шляху судна, зчислених і обсервованих місць, знаків переносу зчислення.	+ 100 %
4	Виконавча прокладка . Вирішуються задачі: визначення поточного місця судна відносно попередньої прокладки і навігаційних небезпек, реєстрація (документування) поточного місця судна.	+ 100 %
5	Виконавча прокладка повинна бути максимально близька до попередньої. Тому курс судна по можливості часто коригують для того, щоб точніше утримувати судно на лінії прокладеного шляху. У разі недоцільності виходу судна на лінію шляху, заданого попередньою прокладкою, обирається новий шлях і/або коригуються поворотні точки із дотриманням усіх рекомендацій по виконанню попередньої прокладки.	+ 100 %
6	На річках, акваторіях портів, вузьких і звивистих фарватерах, в інших районах, де маневрування курсом і/або швидкістю виконується з періодичністю менше 5 хв., виконавська прокладка ведеться шляхом нанесення на карту тільки обсервованих місць, відмітки на карті моментів проходження (траверзів) берегових і плавучих орієнтирів, поворотів, з одного коліна каналу або фарватеру на інше. Для контролю руху судна у цих районах використовують створи і системи засобів огороження небезпек, особливо там, де інші способи визначення місця судна не забезпечують необхідної точності і оперативності.	+ 100 %
7	При переході з карти на карту місце судна переноситься: по вимірних навігаційних параметрах берегових орієнтирів, які є на обох картах; по вимірних на карті пеленгу на береговий орієнтир і відстані до нього при плаванні поблизу берега (контроль при цьому здійснюється по координатах); по координатах – при плаванні у відкритому морі. Виконавча прокладка зберігається на карті до повторного використання карти.	+ Переход з карти на карту здійснюється автоматично
8	Зчислення шляху дозволяє в будь-який момент часу оцінити положення судна відносно наміченого шляху, а також виявити промахи в обсерваціях. Графічне зчислення шляху судна	+ 100 %

1	2	3
	виконується на навігаційних картах за даними основного курсопоказчика і вимірювача швидкості, виправленими їх поправками, з врахуванням дрейфу, знесення судна течією і маневрених елементів.	Здійснюється автоматично
9	При графічному зчисленні на карті прокладаються: лінія істинного курсу – при плаванні без врахування дрейфу і течії; лінія шляху – при врахуванні дрейфу, течії або сумарного знесення. Якщо без побудови трикутника швидкостей буде допущена велика похибка зчислення шляху судна, то на карті будується трикутник швидкостей. Упродовж лінії шляху, як правило, зверху, вказується гірокомпасний курс, яким слідує судно, якщо рульовий веде судно по гірокомпасу, а в дужках – поправка гірокомпаса із своїм знаком. Далі вказуються курс по магнітному компасу, який звіряється з гірокомпасом, а також знак і значення кута дрейфу, знесення або сумарного знесення при їх врахуванні. Зчислимо місце судна при графічній прокладці на карті відмічається на лінії шляху (курсу) у таких випадках: у моменти обсервацій, зміни курсу або швидкості судна (у моменти початку і закінчення маневру, якщо це допускає масштаб карти); у моменти вахт, в інших випадках за вказівкою капітана або на розсуд вахтового помічника. Біля зачислюваного місця у вигляді дробу вказують судовий час (відрахунок лага).	+ Здійснюється автоматично
10	За наявності автозчислювача координат , наприклад у прийомоіндикаторі СНС, поточне зчислюване місце судна розраховується автоматично за даними введених курсу і швидкості (автоматично від компаса та лага або вручну) та відображається на дисплеї. Поворотні точки, а також шляхові точки із вказаною капітаном частотою наносяться на навігаційну карту вручну та позначаються умовним знаком. Ці точки можуть з'єднуватися лініями шляху, утворюючи виконачу прокладку. При автоводах курсу і/або швидкості таке зчислення завжди точніше за ручне за рахунок врахування невеликих змін курсу і/або швидкості, у тому числі ризикання судна.	+ Здійснюється автоматично
11	При виході з району частого маневрування капітан вказує вахтенному помічнику шляхову точку, яку слід прийняти за вихідну точку виконавської прокладки на карті.	+ Здійснюється автоматично
12	Якщо виконавська прокладка практично співпадає з попередньою, зачислювані поворотні і шляхові точки відмічаються на лінії обраного шляху. Надійність і точність зчислення забезпечується справною роботою судових приладів, достовірністю поправок, що беруться до уваги, точністю утримання судна на курсі, правильним врахуванням впливу вітру і течії на судно.	+ Здійснюється автоматично
13	Зчислення контролюється рівністю відрізків між шляховими точками, прокладеними через рівні проміжки часу (півгодинними, годинними і т.д.)	+ Здійснюється автоматично
14	Кут вітрового дрейфу і зміна прийнятої до зчислення швидкості судна через вплив вітру (за відсутності лага) визначають на основі накопиченої інформації і враховують у графічному зчисленні. Елементи течії вибирають з навігаційних посібників або	+ Здійснюється автоматично

1	2	3
	визначають при аналізі нев'язок обсервацій. Слід мати на увазі, що фактичні значення дрейфу і знесення судна можуть від враховуваних. Вітровий дрейф і знесення течією заново враховують при кожній зміні курсу і/або швидкості судна і записують з розрядністю до цілих градусів.	
15	При використанні автозчислювача координат слід: своєчасно вручну вводити нові курс і/або швидкість судна після завершення маневру, якщо не забезпечене автовведення даних від лага і/або компаса; підключати автовведення знесення тільки в районах порівняно стабільних течій і виключати його поблизу берегів при значних змінах елементів руху судна і розкиді нев'язок обсервацій. При використанні автоматизованих реєструючих пристроїв навігаційних комплексів частота реєстрації даних встановлюється залежно від району плавання, швидкості судна і частоти його маневрів. У всіх випадках реєструються усі супутникові обсервації. У відкритому морі через кожні 30-60 хв. і на поворотних точках реєструються параметри РНС, компаса і лага з ознаками автовведення, географічні координати або інформація з дисплея відеопрокладчика; у прибережній зоні ті ж параметри реєструються через кожні 10-30 хв.; на підходах до портів та у вузкостях – через кожні 5 – 10 хв., у портових водах – через кожні 1 – 5 хв.	+ Здійснюється автоматично
16	Визначення місця судна , як і зчислення шляху, має на меті контролювати рух судна за заданим маршрутом.	+ Здійснюється автоматично
17	Навігаційно-гідрографічні умови плавання на кожній ділянці маршруту обумовлюють вимоги до точності обсервацій і витрат часу на визначення місця. Обмеження можливостей судових технічних засобів і способів навігації, необхідні точність обсервації та час на її виконання обумовлюють спосіб вибору місця судна у конкретному районі.	+ Здійснюється вручну
18	Місце судна визначається при: підході до району з обмеженими умовами плавання, до берега, навігаційних небезпек, до системи розділення руху, зони дії системи УРС; здаванні вахти (помічником капітана, що здає вахту) і прийманні вахти (помічником капітана, що приймає вахту); аварійному випадку з судном; отриманні сигналу лиха; виявленні невідомих небезпечних об'єктів і глибин, наявності незвичайних природних явищ; підході до точки повороту і після його завершення, якщо це доцільно; підході до місця скупчення суден, району обмеженої видимості та в усіх інших випадках, що потребують знання точного місця судна.	+ Здійснюється вручну
19	Дискретність обсервацій встановлюється капітаном. Скорочувати час між обсерваціями до менше ніж 5 хв., як правило, недоцільно.	+ Здійснюється автоматично
20	Розрахунки показують, що при плаванні поблизу берегів точність зачислюваного місця судна через 10 хв. після обсервації в 1,5 раза, а через 15 хв. у 2 рази нижче точності обсервації.	—

1	2	3
21	<p>Якість обсервацій забезпечується правильним розпізнаванням і вибором орієнтирів, точним вимірюванням навігаційних параметрів, врахуванням поправок, надлишковими вимірюваннями, нейтралізацією обмежень технічних засобів і методів вимірювань, розумним їх поєднанням. Можливі випадки, коли зчислюване місце судна точніше обсервованого, тому кожне перенесення зчислення в обсервовану точку повинно бути обґрунтоване аналізом нев'язки.</p> <p>Посадки суден на міліну у більшості випадків являлися наслідком сліпої довіри до достовірності місця судна. Якщо нев'язка перевищує допустиму величину, це свідчить про можливий промах в обсервації або зчисленні. За допустиму величину нев'язки можна прийняти подвоєну суму середніх квадратичних похибок (СКП) зчислимого місця і обсервації. До з'ясування причини виникнення недопустимо великої нев'язки достовірність місця судна вважається сумнівною. У цьому випадку біля умовного позначення обсервації на карті ставиться знак питання.</p>	<p>—</p> <p>Здійснюється вручну</p>
22	<p>Достовірність зчислимого місця у випадку великої нев'язки перевіряють: звіренням показань компасів і перевіркою прокладеного на карті курсу; звіренням відкладеної на лінії шляху відстані, пройденої по лагу, з відстанню, розрахованою за швидкістю судна і часом плавання після обсервації (за відсутності лага – контрольним розрахунком); одночасно перевіряється правильність використання масштабу карти; контролем правильності переносу зчислення з однієї карти на іншу; оцінкою обґрунтованості врахування (не врахування) знесення. Якщо є сумніви відносно точності обсервації, місце судна (по можливості без зволікання) визначається знову, бажано іншим способом. Обсервація вважається прийнятою, якщо її позначення на карті не супроводжується знаком питання. Відсутність переносу зчислення в обсервовану точку не є ознакою сумніву в обсервації або ознакою її не врахування. Зчислення переноситься у прийняту обсервацію: перед входом у вузькість, портові води, систему розподілу руху суден або систему УРС; якщо обсервація показала помітне зміщення судна вбік навігаційних небезпеки; якщо величина накопленої нев'язки досягла великого значення, що перешкоджає оперативній оцінці навігаційної ситуації; в інших випадках за вказівкою капітана. Якщо при перевірці навігаційної прокладки виникають сумніви, до якої із зчисливих точок відноситься обсервація, зчислима точка з'єднується з відповідною їй обсервацією стрілкою.</p>	<p>—</p> <p>Здійснюється вручну</p>
23	<p>Обмеження, характерні для технічних засобів і способів навігації.</p> <p>Кожний технічний засіб або спосіб навігації мають обмеження, які необхідно враховувати. Для гірокомпаса це можливість несподіваного уходу з меридіана. Достовірність інформації гірокомпаса систематично контролюється шляхом звірення його показань з показаннями магнітного компасу. Звірення показань компасів виконується тим частіше, чим ближче судно до небезпеки (частіше ніж один раз на годину). Під час плавання</p>	<p>—</p> <p>Здійснюється вручну</p>

1	2	3
	судна достовірність враховуваної поправки гірокомпаса систематично перевіряється по пеленгах створоїв, небесних світилах, по трьох пеленгах (очікувана СКП 0,7°). Якщо при разовому визначенні поправки гірокомпаса у рейсі її величина відрізняється від враховуваної більше ніж на 2° або середня величина 3 – 4 визначень поправок гірокомпаса відрізняється від постійної поправки більше ніж на 1°, слід вжити заходів до з'ясування причини такого розходження. У першу чергу перевіряють технічні параметри гірокомпаса і звіряють показання репітерів пелорусів з показаннями основного приладу.	
24	Якщо при звіренні показань курсопоказчиків, виправлених поправками, виявиться їх розходження більше ніж на 30, правомірно вважати, що один із курсопоказчиків несправний, і негайно вжити заходів до з'ясування причин розходження. При плаванні поблизу навігаційних небезпек частота визначень місця судна у разі сумнівів в якості роботи курсопоказчиків повинна бути збільшена.	— Здійснюється вручну
25	Якщо судно обладнане технічними засобами, які виробляють курс (шлях) судна по обсерваціях, ця інформація повинна використовуватися для контролю за роботою курсопоказчиків .	— Здійснюється вручну
26	Магнітний компас – девіація, яка змінюється із зміною широти району плавання і зміною вантажу, що перевозиться. Правильність табличних значень девіації контролюється шляхом звірення показань компасів. Якщо величина девіації головного магнітного компаса перевищить допустиму величину – 3° (у шляхового – 5°), може бути використана тимчасова таблиця девіації.	— Здійснюється вручну
27	Лаг з висувним датчиком – можливість зміни поправки через зсув датчика.	— Здійснюється вручну
28	РЛС – великі систематичні похибки кутомірного пристрою. У зв'язку з цим для визначення місця краще використовувати далекомірний пристрій. Недоліками РЛС є також значний розкид дальності виявлення об'єктів залежно від гідрометеоумов і наявності тінювих секторів. Якщо тінюві сектори знаходяться попереду траверзу, необхідно періодично відвертати з курсу для їх перегляду.	Здійснюється вручну
29	Автозчислювач координат (який, зокрема, входить в прийомоіндикатор СНС) – можливість того, що систематичні похибки у визначенні зчислимих координат досягнуть величини плавання судна після повороту, якщо автовведення знесення в момент повороту не буде відключений.	Здійснюється вручну
30	Перетворювач координат (який, зокрема, входить в прийомоіндикатор СНС і прийомоіндикатор РНС деяких моделей) – розбіжність використовуваної в його математичному забезпеченні системи координат з системою координат картографічної основи шляхової карти. Розбіжність координат через використання різних еліпсоїдів у морях СРСР, Європи, Південної Азії, Південної Америки та Австралії досягає 0,1 милі,	+ Здійснюється автоматично

1	2	3
	у водах Північної Америки – 0,25 милі, у водах Японії, Південної і Східної Африки – 0,4 милі. Похибка, обумовлена різницею параметрів еліпсоїдів, виявляється тільки при нанесенні отриманих координат місця судна на карту із зображенням берега.	
31	Використання поправок із-за різниці координатних систем , як правило, утруднено відсутністю інформації про картографічну основу карти. Прокладка вимірних радіонавігаційних параметрів на радіонавігаційній карті знімає назване обмеження і забезпечує ув'язку радіонавігаційних обсервацій з визначеннями місця по берегових орієнтирів. Оскільки прийомоіндикатор СНС індифікує тільки координати місця судна, слід своєчасно переходити на обсервації по берегових орієнтирах. Технічні засоби, математичне забезпечення яких передбачає згладжування вимірюваних параметрів (наприклад, деякі моделі САРП, прийомоіндикатор РНС і СНС), – відставання часу даних, що видаються, від фактичного поточного їх значення, яке може досягати декількох хвилин. При цьому маневри судна, витрати часу на виконання яких менше згладжування, можуть бути взагалі втрачені (згладжені). Назване обмеження компенсується або відключенням згладжування, якщо це можливо, або урахуванням запізнювання індифікованих даних.	+ Здійснюється автоматично
32	РНС прийомоіндикатора будь-якого типу – можливість втрати прийомоіндикатором однієї або декількох доріжок . При цьому обсервації на карті добре узгоджуються із зчисленням по компасу і лагу, перешкоджаючи виявленню промаху. Багатьом типам РНС властиві постійні для конкретних районів спотворення радіонавігаційного поля, що досягають декількох мікросекунд, внаслідок чого розрахункові координати, видані обчислювачем прийомоіндикатора РНС, не збігаються з фактичним місцем судна. В окремих моделях прийомоіндикаторів поправки за систематичні спотворення радіонавігаційних параметрів вводяться в пам'ять і автоматично враховуються у вихідних даних, які індифікуються. Ці ж поправки публікуються в спеціальних виданнях для мореплавців. Нарешті, деякі гідрографічні служби вводять такі поправки в радіонавігаційні сітки карт. Таким чином, судноводій, який не знає, враховується чи ні автоматично така поправка в використовуваному прийомоіндикаторі, може виправити відкоригований навігаційний параметр табличною поправкою і прокласти його на карті з відкоригованою радіонавігаційною сіткою, тричі врахувавши одну і ту ж поправку.	– Здійснюється вручну
33	Правильність інформації прийомоіндикатора РНС контролюється обсерваціями, періодично виконуваними за допомогою інших технічних засобів навігації. При цьому можлива перевірка показань індикатора кожного каналу РНС шляхом визначення ліній положення, паралельних ізолініям радіонавігаційного параметра, нанесеним на радіонавігаційну карту.	– Здійснюється вручну
34	Стаціонарні викривлення робочого поля РНС у багатьох випадках враховуються при створенні радіонавігаційної карти.	– Здійснюється

1	2	3
	Тому прокладка на ній вимірних радіонавігаційних параметрів забезпечує підвищення точності обсервацій, знімаючи одночасно обмеження через невідповідність координатних систем. Прийоминдикатор СНС – залежність точності супутникової обсервації від похибки вектора швидкості судна, який вводиться, а також епізодичний – приблизно один випадок на 30 – 50 обсервацій – прийняття помилкової обсервації за правильну (помилка може досягати кількох миль). Крім того, необхідно враховувати похибку, обумовлену відмінністю систем координат, в яких працює СНС і складена навігаційна карта. Якщо при плаванні у відкритому морі похибкою можна знехтувати, то при плаванні поблизу берегів і навігаційних небезпек вона може суттєво впливати на безпеку плавання.	вручну
35	<p>Головним обмеженням комплексу технічних засобів системи УРС є можливість втрати зв'язку з оператором під час радіолокаційного проведення судна, що може поставити судно в небезпечне становище. Судноводії, використовуючи інформацію БРЛС, повинні контролювати місце судна за допомогою судових засобів і бути готовими вжити за необхідності заходів для забезпечення його безпеки.</p> <p>Обмеженнями способу графічного зчислення шляху є відсутність достатньо точної інформації про дрейф і знесення судна; можливість промаху при переході з карти на карту, прокладці або знятті курсу, пройденої відстані, пеленгу, дистанції, координат, використання масштабу карти. Криший спосіб контролю зчислення – обсервації.</p>	— Здійснюється вручну
36	<p>Оюмеженнями усіх візуальних способів визначення місця є їх залежність від умов видимості і можливість промаху в упізнанні орієнтирів. Тому бажано, щоб пеленг і/або дистанція кожного нового орієнтиру накладалася на місце, визначене за пеленгами і/або дистанціями раніше надійно упізнаних орієнтирів. При плаванні вздовж берегів слід, якщо це можливо, використовувати один з орієнтирів на носових курсових кутах, щоб не загубити місце судна при переході з карти на карту. Обмеженням способу визначення місця з допомогою радіолокаційних засобів є ймовірність прийняти на екрані ехо-сигнали одного об'єкта за ехо-сигнали другого. Такий випадок можливий у разі великої помилки зчислення, коли в районі плавання наявні схожі об'єкти. Тому слід контролювати по карті наявність в радіусі похибки зчислимого місця судна об'єктів, які можна переплутати. Промах може бути попереджений, наприклад, вимірюванням і прокладкою контрольного радіопеленга. При аналізі радіолокаційної інформації слід враховувати можливість появи помилкових (ложних) ехо-сигналів.</p>	— Здійснюється вручну
37	<p>Оцінка точності поточного місця є обов'язковою умовою безпечного руху судна заданим маршрутом. Судно знаходиться у безпеці, якщо дистанція до найближчої навігаційної небезпеки перевищує граничну похибку визначення поточного місця, за яку приймають потрійне значення СКП.</p>	— Здійснюється вручну

1	2	3
38	<p>Похибка визначення поточного місця складається з похибки вихідної обсервації і похибки зчислення за час плавання після обсервації. СКП визначення місця по трьох гірокомпасних або радіолокаційних пеленгах, трьох радіолокаційних відстанях, радіолокаційних пеленгу і відстані, гірокомпасному пеленгу і радіолокаційній відстані, РНС «Декка», "Марс-75", "Лоран-С" і "Чайка" з фіксацією фази в прийомоіндикаторі при середніх умовах вимірювань кожним способом складає 0,1-0,3 милі, при гірших умовах – 0,2-0,5 милі; по радіопеленгах, висотах світил – 1-3 милі.</p> <p>При використанні прийомоіндикатора СНС в океанах і відкритих морях похибка обсервації складає 0,3-0,8 милі, а похибка зчислимого місця дорівнює 0,8-1,2 милі при середніх інтервалах між обсерваціями близько 1 год. При збільшенні інтервалів між обсерваціями до 2 год. похибка зчислимого місця досягає 1,5—3,0 милі. У прибережних районах похибки обсервації і зчислимого місця можуть бути у 2 рази більшими. Похибка зчислимого місця, за рідкими випадками, зазвичай не перевищує 10 ДГ від пройденої відстані при плаванні до 3 год., 8 % – при плаванні до 6-10 год., 6 Ж – при плаванні до 14-18 год.</p>	— Здійснюється вручну
39	<p>При плаванні в районі з обмеженими умовами, виборі безпечної швидкості і при розходженні з іншими суднами враховуються маневрені характеристики судна. Спосіб врахування (окомірний, графічний і т.д.) визначається залежно від обстановки.</p> <p>У штормових і льодових умовах, у мілководних районах табличні значення маневрених характеристик судна помітно відрізняються від фактичних. Тому необхідно накопичувати і враховувати досвід плавання у таких умовах.</p>	— Здійснюється вручну

Узагальнені результати досліджень

№	Дії вахтового помічника	Узагальнені результати вимірювань традиційним способом	Узагальнені результати вимірювань за допомогою ECDIS	Ефективність.
1	2	3	4	5
1	Перераховування даних з локальних і регіональних датумів у WGS84	10 хв	10 сек	Економія часу збільш. в 60 разів
2	Знаходження істинної дистанції та пеленга двох будь-яких точок на карті	4 хв	10 сек	Економія часу збільш. в 24 рази
3	Визначення географічних координат точки за відомими координатами іншої точки, пеленгом, дистанцією	3 хв	10 сек	Економія часу збільш. в 18 разів

1	2	3	4	5
4	Обчислювання напряму і довжини локсодромії та ортодромії	7 хв	10 сек	Економія часу збільш. в 28 разів
5	Попередження і сигналізація про умови і ситуації, що потребують уваги	–	+	$P_{\text{оп}} > 0,95$
6	Оперативність замовлення та доставки карт	1 доба	2 год	Економія часу збільш. в 12 разів
7	Економія часу при проведенні попередньої прокладки	$T_{\text{попер}}$	$0,1 T_{\text{попер}}$	Економія часу збільш. в 10 разів
8	Точність визначення місця при проведенні попередньої прокладки	$M_{\text{тр}} = M_{\text{ECDIS}}$	$M_{\text{тр}} = M_{\text{ECDIS}}$	–
9	Забезпечення інтегральною навігаційною обстановкою на основі поєднання інформації від РЛС, ЗАРП, СНС, NAVTEX, РС	–	+	$P_{\text{оп}} > 0,95$
10	Безперервне спостереження за місцем знаходження судна	–	+	$P_{\text{оп}} > 0,95$
11	Суміщення радіолокаційної та картографічної обстановки	–	+	$P_{\text{оп}} > 0,95$
12	Більш детальне врахування гідрографічної обстановки по карті	–	+	$P_{\text{оп}} > 0,95$
13	Автоматичний контроль безпеки руху ВТЗ, в тому числі попередження про недостатні глибини або наближення до них, про перешкоди і небезпеки в охоронній зоні, про цілі, з якими виникає небезпека зіткнення, про входження судна в заборонені райони і райони із спеціальними умовами	–	+	$P_{\text{оп}} > 0,95$
14	Автоматична коректура електронних карт	–	+	Економія збільш. в 60 разів
15	Елементарні задачі навігаційної прокладки, вирішувані на карті в проекції Меркатора: – нанесення точки на карту по заданих координатах; – зняття (вимірювання) координат заданої точки; – вимрювання відстаней між заданими точками; – прокладка від заданої точки заданих напрямків; – вимірювання напрямів між заданими точками; – перенесення заданої точки з однієї карти на іншу	3 хв 3 хв 3 хв 3 хв 3 хв 10 хв	10 сек 10 сек 10 сек 10 сек 10 сек 5 сек	Економія часу збільш. в: 18 разів 18 разів 18 разів 18 разів 18 разів 18 разів
16	Розрахунки ймовірності безпечного плавання $P_{\text{оп}}$ для конкретних умов руху ВТЗ $P_{\text{оп}} = 1 - \exp(-D_{\text{min}}/M)^2$	10 хв	10 сек за умови автоматизації	Економія часу збільш. в 60 разів

Основні вимоги міжнародних документів, що пред'являються
до Inland ECDIS

1. Основные функции и рабочие характеристики

- a) Inland ECDIS должна содействовать улучшению безопасности и эффективности внутреннего судоходства охране окружающей среды.
- b) Inland ECDIS должна облегчать работу судоводителя по сравнению с традиционными методами судоходства и получения информации.
- c) Inland ECDIS (системное программное обеспечение, прикладное программное обеспечение и техническое оборудование) должна иметь высокий уровень надежности и доступности.
- d) Inland ECDIS может быть предназначена только для информационного режима либо как для информационного, так и для навигационного режима.
- e) Inland ECDIS должна использовать всю необходимую картографическую информацию.
- f) Inland ECDIS должна обеспечивать простое и надежное обновление электронной навигационной карты для внутреннего судоходства (ЭНК ВС).
- g) Inland ECDIS должна обеспечивать соответствующую аварийно-предупредительную сигнализацию или индикацию в отношении отображаемой информации или неисправности оборудования.
- h) Inland ECDIS должна соответствовать эксплуатационным требованиям стандарта для систем отображения электронных навигационных карт и информации для внутреннего судоходства.

2. Термины

- a) **Inland ECDIS** означает систему отображения электронных навигационных карт и информации для внутреннего судоходства, отображающую информацию, выбранную из системной электронной навигационной карты для внутреннего судоходства (СЭНК ВС), и - факультативно - информацию, получаемую от других навигационных датчиков;
- b) **Электронная навигационная карта для внутреннего судоходства (ЭНК ВС)** означает базу данных, стандартизованную по содержанию, структуре и формату и выпускаемую для использования с Inland ECDIS. ЭНК ВС соответствует стандартам МГО S-57 и S-52 с дополнениями и уточнениями этого стандарта применительно к Inland ECDIS.
- c) **Системная электронная навигационная карта для внутреннего судоходства (СЭНК ВС)** означает базу данных, полученную в результате преобразования ЭНК ВС средствами Inland ECDIS.
- d) **Минимальная плотность информации (базовое отображение)** означает минимальный объем отображаемой информации СЭНК, который не может быть сокращен оператором и

который включает данные, требующиеся в любое время, во всех географических районах и при любых обстоятельствах;

е) **Стандартная плотность информации (стандартное отображение)** означает стандартный объем информации СЭНК, которая должна быть видимой, когда карта отображается в Inland ECDIS впервые;

ф) **Совокупная плотность информации (совокупное отображение)** означает максимальный объем информации СЭНК. В данном случае, помимо стандартного отображения, в индивидуальном порядке по требованию отображаются также все остальные характеристики;

г) **Интегрированное отображение** означает изображение СЭНК в относительном движении и ориентации по курсу с наложенным на него радиолокационным изображением. При этом масштаб, смещение центра и ориентация этих изображений должны совпадать;

и) **Навигационный режим** означает использование Inland ECDIS в целях управления судном с наложением радиолокационного изображения;

ж) **Информационный режим** означает использование Inland ECDIS только в информационных целях без наложения радиолокационного изображения.

3. Содержание и обеспечение ЭНК ВС

а) Картографическая информация, предназначенная для использования в Inland ECDIS, должна представлять собой информацию, содержащуюся в последнем из выпущенных изданий.

б) Должны быть приняты меры для исключения возможности изменения пользователем содержания оригинала издания ЭНК ВС.

в) Если карта предназначена для использования в навигационном режиме, то в ЭНК должны быть включены по крайней мере следующие характеристики:

- **берег водного пути (при среднем уровне воды);**
- сооружения на береговой линии, которые считаются опасным для судоходства);
- контуры шлюзов и дамб;
- **границы судового хода;**
- отдельные подводные опасности на судовом ходе;
- отдельные надводные опасности на судовом ходе (мосты, линии электропередач и т.д);
- средства навигационного оборудования;
- осевая линия водного пути с указанием километровых милевых отметок.

д) Если карта предназначена для использования в навигационном режиме, то должны быть указаны характеристики, которые должны проверяться.

4. Обновление

а) Inland ECDIS должна предусматривать возможность внесения корректуры в данные ЭНК ВС. **Это обновление должно использоваться в СЭНК автоматически.**

б) Inland ECDIS должна позволять отображать обновления для ознакомления с их содержанием.

в) Inland ECDIS должна быть способна аннулировать автоматически используемые обновления данных ЭНК ВС.

- d) Первоначальные издания ЭНК ВС и последующие обновления никогда не должны смешиваться.
- e) ЭНК ВС и вся корректура к ней должны отображаться без какого-либо ухудшения их информационного содержания.
- f) Данные ЭНК ВС и корректура к ней должны четко отличаться от другой информации.
- g) Inland ECDIS должна обеспечивать правильный ввод ЭНК ВС и всей корректуры к ней в СЭНК.
- h) Inland ECDIS должна регистрировать обновления, включая время их ввода в СЭНК.
- i) Содержание используемой СЭНК должно быть адекватным и откорректированным на момент намеченного рейса.

5. Отображение информации

- a) Метод отображения должен обеспечивать четкую видимость отображаемой информации для более чем одного наблюдателя в характерных условиях освещения рулевой рубки судна как днем, так и ночью.
- b) Размеры отображаемой карты должны быть не менее 270 мм x 270 мм для навигационного режима. В информационном режиме ее размеры определяются соображениями эргономики.
- c) Требования в отношении отображения должны выполняться как в альбомном (горизонтальном), так и в книжном (вертикальном) формате.

6. Шкалы дальности (масштаб)

- a) В информационном режиме используются те же шкалы дальности, что и для навигационного режима.
- b) В навигационном режиме допускается лишь последовательное переключение шкал дальности (масштабов)

7. Расположение и ориентация изображения

- a) В информационном режиме допускаются все виды ориентации карты.
- b) В навигационном режиме карта должна автоматически располагаться и ориентироваться в относительном движении с ориентацией по курсу; при этом положение своего судна может располагаться в центре экрана или может быть смещено.

8. Отображение информации СЭНК

- a) Существуют следующие три категории отображения информации СЭНК:
- базовое отображение,
 - стандартное отображение,
 - совокупное отображение.

h) Inland ECDIS должна в любое время четко указывать текущую плотность информации.

і) Змінююча в часі інформація про глибину на ЕНК повинна відображатися незалежно від вказаних вище трьох категорій відображення.

9. Відображення радіолокаційної інформації

а) В навігаційному режимі радіолокаційне зображення повинно відображатися на дисплеї в першочерговому порядку, причому тільки в режимі відносного руху з орієнтацією по курсу.

Якщо система сертифікована також для використання як ECDIS для морського судноходства, можуть застосовуватися режим істинного руху і орієнтація по северу. Якщо така система використовується в режимі істинного руху і/або з орієнтацією по северу на європейських внутрішніх водних шляхах, то вважається, що вона працює в інформаційному режимі.

б) СЭНК, на яку накладається радіолокаційне зображення, повинна збігатися з цим зображенням (шкали дальності і орієнтації).

Радіолокаційне зображення і місцеположення, отримане від датчика місцеположення, повинні надавати можливість їх зміщення для компенсації відстані між антеною і місцем, з якого керується судно.

в) Накладуване радіолокаційне зображення повинно відповідати мінімальним вимогам, вказаним в поточному стандарті.

г) Накладуване радіолокаційне зображення може містити додаткову навігаційну інформацію.

Додаткова навігаційна інформація не повинна погіршати радіолокаційне зображення.

10. Відображення іншої навігаційної інформації

а) Inland ECDIS і додаткова навігаційна інформація повинні використовувати загальну систему координат.

б) Повинно забезпечуватися відображення на екрані місцеположення свого судна.

в) Повинно забезпечуватися можливість встановлення судноводителем безпечних відстаней.

г) Inland ECDIS повинна вказувати на несоблюдення безпечних відстаней.

11. Колори і символи

а) Колори і символи, використовувані для відображення інформації СЭНК, повинні забезпечувати відповідність поточному стандарту.

12. Точність даних і відображення

а) Точність розраховуваних і відображуваних даних не повинна залежати від характеристик дисплея і повинна відповідати точності СЭНК.

б) Inland ECDIS повинна забезпечувати індикацію, чи є виставлена на дисплеї шкала дальності менше тієї, яка відповідає точності даних ЭНК ВС (індикація про перевищення масштабу відображення).

с) Точность всех расчетов, выполняемых Inland ECDIS, не должна зависеть от характеристик выходного устройства и должна соответствовать точности СЭНК.

d) Точность пеленгов и дистанций, отображаемых на дисплее должна быть не ниже разрешающей способности дисплея.

13. Функционирование

a) Информационный режим предназначен для использования только в информационных, а не в навигационных целях.

b) В информационном режиме допускаются все виды ориентации карты, ее вращение, масштабирование и фрагментирование.

c) Следует предусмотреть возможность ручного прокручивания карты на экране, чтобы осевая линия фарватера совпадала с вертикальной осью экрана.

d) Inland ECDIS может подсоединяться к датчику определения местоположения для автоматического передвижения картографического изображения и для отображения той части карты, которая соответствует фактическому положению, а именно на выбранной оператором шкале дальности.

e) Рекомендуется отображать информацию о местоположении и ориентации других судов, полученную по АИС или АІ-ІР в реальном времени.

Отображение информации о местоположении и ориентации других судов с помощью

- ориентированного в пространстве треугольника или
- истинных очертаний (в масштабе)

если неизвестен курс этих других судов.

a) В навигационном режиме отображение Inland ECDIS интегрируется с информацией от радиолокатора своего судна. Радиолокационная информация должна четко отличаться от информации СЭНК.

b) Интегрированное отображение должно соответствовать требованиям, предъявляемым к радиолокаторам на внутренних водных путях и в настоящем стандарте.

c) Картографическое и радиолокационное изображения должны соответствовать друг другу по размерам, местоположению и ориентации.

d) Интегрированное отображение должно представляться только с ориентацией по курсу. Другие виды ориентации разрешаются в системах с дополнительной сертификацией для использования в качестве ECDIS для морского судоходства. Если такая система применяется в режиме истинного движения и/или с ориентацией по северу на европейских внутренних водных путях, то считается, что она работает в информационном режиме.

e) Должна быть обеспечена возможность корректировки оператором отображаемого местоположения судна, с тем чтобы радиолокационное изображение совпадало с отображением СЭНК.

f) Должна быть предусмотрена возможность временного изъятия либо данных ECDIS, либо радиолокационной информации одним действием оператора.

g) Местоположение судна должно устанавливаться с помощью системы постоянного определения местоположения с точностью, соответствующей требованиям безопасного судоходства.

h) Навигационный режим должен предусматривать индикацию прекращения поступления информации от системы определения местоположения.

Навигационный режим должен также повторять - но только в виде индикации - любой аварийно-предупредительный сигнал или индикацию, передаваемые системой определения местоположения.

i) Система определения местоположения и СЭНК должны базироваться на одной и той же системе геодезических координат.

k) Информацию о местоположении и ориентации других судов, полученную с помощью других каналов связи, помимо собственной радиолокационной установки, разрешается отображать только в том случае, если она обновляется (почти в реальном времени) и отвечает требованиям по точности, необходимым для создания тактических и эксплуатационных условий судоходства.

l) Поскольку информация от АИС о других судах полезна для планирования расхождения, но бесполезна в процессе самого расхождения, символы систем обнаружения и отслеживания (АИС) не должны ухудшать радиолокационное изображение в ходе расхождения и поэтому должны затухать.

m) Отображение местоположения и ориентации других судов с помощью

* ориентированного в пространстве треугольника или

* истинных очертаний (в масштабе)

допускается только в том случае, если известен курс этих других судов. Во всех прочих случаях должен использоваться общий символ (рекомендуется квадрат, круг следует использовать только в программах, предназначенных для внутреннего судоходства).

14. Элементы управления и контроля

a) Конструкция Inland ECDIS должна отвечать эргономическим принципам и быть удобной для использования.

b) Оборудование Inland ECDIS должно иметь минимальное число элементов управления и контроля.

d) Стандартная настройка и настройка, выбранная пользователем, должны восстанавливаться без каких-либо затруднений.

15. Сопряжение с другим оборудованием

a) Inland ECDIS не должна оказывать отрицательного воздействия на функционирование любого подключенного оборудования.

b) Inland ECDIS должна быть в состоянии генерировать информацию для других систем, например в целях осуществления электронного оповещения.

16. Встроенное проверочное оборудование

Inland ECDIS должна быть оснащена средствами проведения бортовых проверок основных функций в автоматическом или ручном режиме. В случае неисправности должен указываться неисправный блок.

Закінчення додатка Е

17. Сбои в работе

Inland ECDIS должна обеспечивать приемлемую аварийно-предупредительную сигнализацию или индикацию сбоев в работе системы.

18. Недостаточная точность позиционирования СЭНК

В навигационном режиме СЭНК должна автоматически отключаться, если указываемое на СЭНК местоположение не соответствует радиолокационному изображению.

19. Повреждения

а) Если произошло явное повреждение системы Inland ECDIS, то она должна подавать соответствующий аварийно-предупредительный сигнал.

б) Для недопущения критических ситуаций, к которым может привести неисправность Inland ECDIS, должны быть предусмотрены устройства, обеспечивающие безопасную передачу функций Inland ECDIS другому оборудованию.

20. Источник питания в навигационном режиме

а) Inland ECDIS должна быть оснащена собственным отдельным источником питания с предохранителями.

б) Перебои в подаче питания продолжительностью до 5 мин. не должны оказывать никакого воздействия на правильность функционирования оборудования и не должны требовать его повторного ручного включения.

21. Стандарт данных

В стандарте содержится описание необходимых добавлений и уточнений к S-57 и способов применения S-57 для целей использования в прикладных программах Inland ECDIS.

22. Теоретическая модель данных

Описание теоретической модели данных, содержащееся в S-57, часть 2, применяется к теоретической модели данных ЭНК ВС без каких-либо изменений или поправок.

23. Структура данных

Описание структуры данных, содержащееся в S-57, часть 3, применяется к структуре данных ЭНК ВС без каких-либо изменений или поправок.

24. Постоянно видимые функциональные параметры

Следующие функциональные параметры должны быть постоянно видимыми:

- фактическая ШКАЛА ДАЛЬНОСТИ,
- СТАТУС датчиков (настройка радиолокатора, точность местоположения, аварийно-предупредительные сигналы),
- **заданный УРОВЕНЬ ВОДЫ (если имеется),**
- **заданная БЕЗОПАСНАЯ ГЛУБИНА (если имеется),**
- заданная ПЛОТНОСТЬ ИНФОРМАЦИИ.

- Виділенням кольором вимогам приділялася особлива увага у дисертації.

Порівняльний аналіз моделей діагностики мережевих аномалій

Моделі	Переваги	Недоліки
<u>Сигнатурний метод</u> базується на збігу з еталонним зразком	<ol style="list-style-type: none"> 1. Продуктивність. 2. Наявність досвіду у використанні систем. 3. Мале число помилкових тривог. 4. Обґрунтованість рішень 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ускладнено оновлення бази даних сигнатур. 2. Не виявляються нові сигнатури. 3. Період оновлення БД сигнатур повинен бути не великий.
<u>Статистичний метод</u> базується на окремих мережевих пристроях, характеристики яких є випадковими величинами, що змінюються в часі	<ol style="list-style-type: none"> 1. Не потрібно точних даних про мережеві аномалії. 2. Можливість виявлення нових мережевих аномалій. 3. Простота в експлуатації. 4. Висока ефективність і обґрунтованість рішень 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Довга вибірка навчання. 2. Складно задати порогові обмеження мережевих аномалій. 3. Необхідний шаблон
<u>ES</u> акумулюють знання експертів у конкретній предметній області	<ol style="list-style-type: none"> 1. Відсутність помилкових тривог. 2. Використання досвіду експертів 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Постійне оновлення БД. 2. Не виявляються невідомі мережеві аномалії
<u>NN</u> представляють систему, яка на основі функції активації зіставляє вхідну і вихідну інформацію	<ol style="list-style-type: none"> 1. Адаптація до різних середовищ. 2. Аналіз всіх мережевих аномалій. 3. Прогнозування мережевих аномалій 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Не видно логіки прийняття рішення. 2. Великий час навчання. 3. Високий рівень помилкових тривог. 4. Потрібні серйозні знання в області параметрів мережі

Щоденна інформація від Річковий інформаційної служби водних шляхів України
за рівнями води на водомірних постах

Водомерный пост	12.10.2018		13.10.2018		14.10.2018		15.10.2018		16.10.2018		17.10.2018		24h	
	m	+/-	m	+/-	m	+/-	m	+/-	m	+/-	m	+/-	m	+/-
Водомерный пост Херсон	-0,28	+0,1	-0,36	-0,08	-0,22	+0,14	-0,31	-0,09	-0,23	+0,08				
Каховская ГЭС (н.б.)	0,03	+0,18	-0,46	-0,49	-0,32	+0,14	-0,37	-0,05	0,1	+0,47	0,08	-0,02		
Каховская ГЭС (в.б.)	15,57	+0,04	15,62	+0,05	15,57	-0,05	15,5	-0,07	15,45	-0,05	15,52	+0,07		
Водомерный пост Никополь	15,5	+0,02	15,47	-0,03	15,47	0	15,47	0	15,47	0	15,47	0		
Днепроовская ГЭС (н.б.)	15,5	-0,27			15,5	0			15,66	+0,16	15,75	+0,09		
Днепроовская ГЭС (в.б.)	51,32	+0,06	51,26	-0,06	51,32	+0,06	51,32	0	51,3	-0,02	51,28	-0,02		
Водомерный пост Днепр	51,28	-0,06	51,27	-0,01	51,26	-0,01	51,26	0	51,3	+0,04	51,33	+0,03		
Среднеднепровская ГЭС (н.б.)	51,68	-0,12	51,4	-0,28	51,34	-0,06	51,4	+0,06	51,36	-0,04	51,82	+0,46		
Среднеднепровская ГЭС (в.б.)	63,87	-0,01	63,88	+0,01	63,88	0	63,88	0	63,88	0	63,86	-0,02		
Водомерный пост Кременчуг	64,05	+0,02	63,89	-0,16	63,89	0	63,93	+0,04	63,93	0	63,89	-0,04		
Кременчугская ГЭС (н.б.)	64,13	+0,1	63,95	-0,18	63,91	-0,04	63,9	-0,01	63,9	0	63,97	+0,07		
Кременчугская ГЭС (в.б.)	79,68	-0,04	79,67	-0,01	79,69	+0,02	79,68	-0,01	79,67	-0,01	79,65	-0,02		
Водомерный пост Черкассы	79,8	+0,05	79,76	-0,04	79,71	-0,05	79,73	+0,02	79,73	0	79,71	-0,02		
Каневская ГЭС (н.б.)	79,78	+0,02	79,74	-0,04	79,69	-0,05	79,72	+0,03	79,81	+0,09	80,33	+0,52		
Каневская ГЭС (в.б.)	91,4	-0,01	91,41	+0,01	91,42	+0,01	91,42	0	91,42	0	91,39	-0,03		
Водомерный пост Ржищев	91,48	0	91,49	+0,01	91,52	+0,03	91,5	-0,02	91,52	+0,02	91,53	+0,01		
Водомерный пост Киев	91,48	0	91,48	0	91,49	+0,01	91,49	0	91,5	+0,01	91,51	+0,01		
Киевская ГЭС (н.б.)	91,4	+0,02	91,38	-0,02	91,4	+0,02	91,37	-0,03	91,4	+0,03	91,4	0		
Киевская ГЭС (в.б.)	102,59	+0,01	102,58	-0,01	102,58	0	102,58	0	102,57	-0,01	102,57	0		
Неданчичи	103,32	-0,01	103,32	0	103,31	-0,01	103,3	-0,01	103,3	0				